



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

## ÚSTAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ KRAJINY

INSTITUTE OF LANDSCAPE WATER MANAGEMENT

# KONCEPCE ŘEŠENÍ ČIŠTĚNÍ ODPADNÍCH VOD V OBCI TŘEBEŠOV

CONCEPT OF WASTEWATER SOLUTION FOR VILLAGE TŘEBEŠOV

## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

## AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Ondřej Chaloupka

## VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. MICHAL KRIŠKA, Ph.D.

BRNO 2017



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

STUDIJNÍ PROGRAM	B3656 Městské inženýrství
TYP STUDIJNÍHO PROGRAMU	Bakalářský studijní program
STUDIJNÍ OBOR	3647R025 Městské inženýrství
PRACOVISŤE	Ústav vodního hospodářství krajiny

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

STUDENT	Ondřej Chaloupka
NÁZEV	Koncepce řešení čištění odpadních vod v obci Třebešov
VEDOUCÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE	Ing. Michal Kriška, Ph.D.
DATUM ZADÁNÍ	30. 11. 2016
DATUM ODEVZDÁNÍ	26. 5. 2017

V Brně dne 30. 11. 2016

  
.....  
prof. Ing. Miloš Starý, CSc.  
Vedoucí ústavu



  
.....  
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA  
Děkan Fakulty stavební VUT

## PODKLADY A LITERATURA

- 1) Kriška, M., Němcová, M.: Kořenové čistírny odpadních vod - METODICKÁ PŘÍRUČKA PRO POVOLOVÁNÍ, NÁVRH, REALIZACI A PROVOZ, 2015
- 2) Rozkošný, M., Kriška, M., Šálek, J., Bodík, I., Istenič, D.: Natural Technologies of Wastewater Treatment, 2014., 138 p., ISBN: 978-80-214-4831-5
- 3) Databáze vědeckých článků sciencedirect.com
- 4) Normy ČSN související s technologií kořenových ČOV

## ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ (ZADÁNÍ, CÍLE PRÁCE, POŽADOVANÉ VÝSTUPY)

Práce se zaměří na posouzení možností realizace kořenové čistírny pro obec Třebešov. Jelikož se jedná o obec s již realizovanou jednotnou kanalizací, součástí bude také vyřešení nakládání s dešťovými vodami pomocí nejnovějších poznatků (ve světovém měřítku). Práce bude řešena jako orientační návrh - nebude se zabývat technickými detaily, ale soustředit se bude na hlavní výhody a přínosy vybraného řešení.

## STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ/DIPLOMOVÉ PRÁCE

**VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:**

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).



**Ing. Michal Kriška, Ph.D.**

Vedoucí bakalářské práce

## ABSTRAKT

Voda je základním stavebním kamenem života na naší planetě. Její důležitost byla v minulosti velmi opomíjena a kvalita vody v povrchových vodních tocích výrazně poklesla. Je důležité, aby dle zásad trvale udržitelného rozvoje bylo s vodou nakládáno hospodárněji a každá voda, kterou člověk použije, byla před vypuštěním zpět do přírody řádně vyčištěna. Jedním z možných energeticky nenáročných způsobů je použití vertikálních kořenových zemních filtrů.

Bakalářská práce se zabývá možným řešením kořenové čistírny odpadních vod pro obec Třebešov. V obci se nachází pouze jednotná kanalizace, a proto bude součástí návrhu celkového řešení vodní nádrž pro dešťové vody. V této vodní nádrži bude docházet k čištění naředěné odpadní vody s vodou splaškovou pomocí technologie plovoucích ostrovů.

## KLÍČOVÁ SLOVA

Kořenové čistírny odpadních vod, zemní filtr, plovoucí ostrovy, odpadní voda

## ABSTRACT

Water is the essential building block of life on the planet Earth. Its importance was overlooked in the past and quality of water in surface watercourses noticeably decreased. It is an important fact, that according to the principles of sustainable development water became treated more economically and the water, which people use, started to be cleaned properly before discharging back into the nature. One possible method is using of vertical sand natural filters.

The Bachelor thesis deals with a possible solution of treatment wetlands for the village Třebešov. In this village there is located only an united sewer and therefore a water reservoir for rain water will be part of the design. In this water tank the rain water diluted with sewage will be cleaned through floating island technology.

## KEYWORDS

Treatment wetlands, sand filter, floating islands, waste water

## BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

Ondřej Chaloupka *Koncepce řešení čištění odpadních vod v obci Třebešov*. Brno, 2017. 86 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství krajiny. Vedoucí práce Ing. Michal Kriška, Ph.D.

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 23. 5. 2017

---

Ondřej Chaloupka  
autor práce

# PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY VŠKP

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané bakalářské práce je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 23. 5. 2017

---

Ondřej Chaloupka  
autor práce

**Poděkování:**

Děkuji touto cestou panu Ing. Michalovi Kříškovi, Ph.D. za ochotu, cenné připomínky a odborné rady, které mi pomohli v napsání této bakalářské práce. Déle bych chtěl poděkovat Kláře Chaloupkové, která mi velmi pomohla s texty a zástupcům Městského úřadu Rychnov nad Kněžnou za ochotné poskytování informací.



## Obsah

Úvod a cíle.....	3
1. Charakteristika území.....	5
1.1. Obec .....	5
1.1.1. Obecné informace.....	5
1.1.2. Územní plán .....	9
1.1.3. Kanalizační systém .....	12
1.2. Povodí.....	13
1.3. Chráněná území .....	15
2. Vegetační kořenové čistírny.....	17
2.1. Mechanické předčištění .....	17
2.1.1. Odlehčovací komory a dešťové zdrže .....	18
2.1.2. Česle .....	20
2.1.3. Septiky.....	22
2.1.4. Štěrbínové usazovací nádrže.....	24
2.2. Horizontální filtr .....	26
2.2.1. Princip .....	26
2.2.2. Filtrační materiál .....	27
2.2.3. Funkčnost .....	28
2.3. Vertikální filtr .....	30
2.3.1. Princip .....	30
2.3.2. Filtrační materiál .....	32
2.3.3. Funkčnost .....	34
2.4. Stabilizační nádrž.....	34
2.4.1. Anaerobní biologické nádrže .....	36
2.4.2. Aerobní biologické nádrže .....	36
2.4.3. Dočišťovací biologické nádrže .....	37
3. Vodní kultury (akvakultury).....	38
3.1. Plovoucí umělé mokřady.....	39
3.2. Funkčnost.....	40
3.3. Další způsoby řešení akvakultur .....	42
4. Praktická část .....	45

4.1.	Vstupní data .....	46
4.2.	Dešťová zdrž .....	48
4.3.	Varianta I .....	53
4.4.	Varianta IIa .....	58
4.5.	Varianta IIb .....	63
	Závěr .....	71
	Seznam použitých zdrojů .....	73
	Seznam obrázků .....	76
	Seznam použitých zkratk a symbolů .....	78

## Úvod a cíle

Přírodní ekosystémy mají za sebou dlouhá tisíciletí vývoje, který neustále pokračuje a zdokonaluje se. V přírodě nikdy nemůžeme říci, že je něco ve svém konečném stavu. Lidská civilizace je zde z pohledu délky lidského života dlouho, v porovnání s ostatními formami života na naší planetě, je to jen okamžik. Moderní technologie, ke kterým se upínáme, jsou dostupné cca 50 let. Jejich vývoj běží neuvěřitelným tempem kupředu a jen těžko dokážeme odhadnout, kde budou naše technologické možnosti za dalších 50 let. Čistě teoreticky, kdybychom teď ale z ničeho nic nechali zmizet všechno, co jsme vytvořili, bude společnost postupně upadat až se jako kaskáda zhroutí. Pokud se nechceme řídit mottem „Po nás potopa,“ měli bychom se snažit minimalizovat dopady naší činnosti na naše okolí (viz ekologické pojmy jako trvale udržitelný rozvoj, uhlíková stopa, potravinová stopa, apod.). V posledních letech již dochází ke zlepšení v oblasti osvěty, informovanosti a reálného aplikování částečného příklonu k přirozeným technologiím, a proto bychom neměli v tomto úsilí polevovat.

Základním kamenem života na naší planetě je voda. Denně jí člověk spotřebovává velké množství, až dochází k plýtvání a v podstatě ke zbytečnému znehodnocení a zhoršení její kvality při vypouštění. Cesta k nižšímu negativnímu ovlivnění kvality a množství vody v přírodě je buď zajištění účinného vyčištění před navrácením do přírody, anebo snížení spotřeby vody. Jak člověka donutit ke snížení spotřeby pitné vody? To je běh na dlouhou trať a není to předmětem této bakalářské práce. Ve své práci se chci zabývat využitím vody, která už prošla lidskýma rukama před jejím vypouštěním do volné přírody. Způsobů čištění splaškových odpadních vod je celá řada. Mým cílem v této bakalářské práci je navrhnout řešení, které

pomocí přírodě blízkých přístupů zajistí zlepšení kvality vypouštěné odpadní vody natolik, aby se zlepšila kvalita toku, do něhož bude voda vypouštěna.

Cílem je návrh čistírny odpadních vod, která nebude pro svůj provoz vyžadovat přísun elektrické energie za současného dodržení takové kvality vody, které lze dosáhnout technologicky náročnějších systémů. Princip bude zahrnovat přirozenou sedimentaci, dále systém nazývaný jako vegetační kořenová čistírna a následně stabilizace výsledků ve vodní nádrži.

Nechci tvrdit, že jsou vegetační čistírny tím jediným správným řešením, a že od teď se musí navrhovat jen ty. Díky letům výzkumů ale prošly patřičným vývojem a dnes se už určitě mohou řadit odtokovými parametry na srovnatelnou úroveň jako ostatní způsoby čištění odpadních vod.

Ve své práci tak popíši základní principy kořenových čistíren a jakým vývojem prošly. Jednou z novinek přírodního čištění jsou například plovoucí ostrovy s mokřadní vegetací, které bych dále také rád představil. Na závěr bych pak detailněji popsal návrh, jak by bylo možné navrhnout vegetační čistírnu odpadních vod pro obec s počtem 300 obyvatel a jakých hodnot znečištění bychom takovým návrhem mohli dosáhnout.

## 1. Charakteristika území

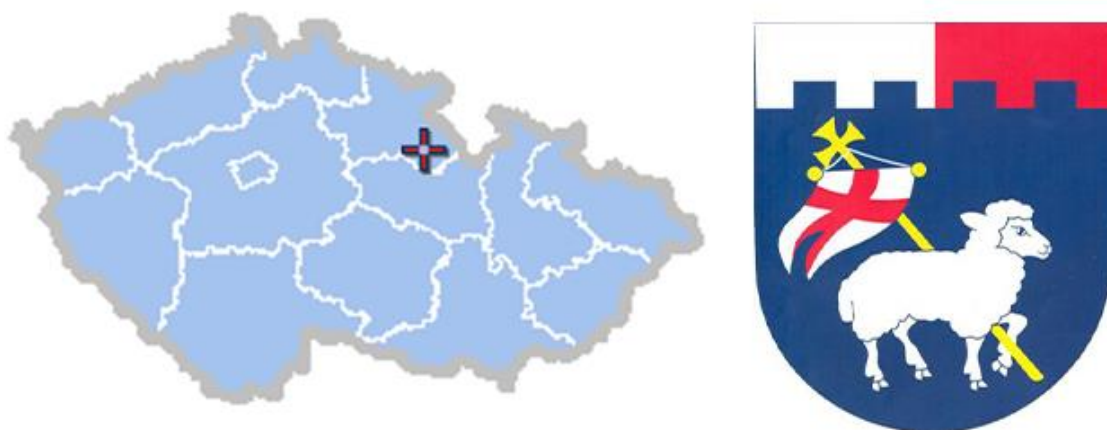
V první kapitole bych rád přiblížil charakter a vybavenost řešeného území. Každá část území je součástí nějakého vyššího celku, který může více či méně ovlivňovat podmínky v dané oblasti. V dalších bodech bych proto zmínil některé vlivy, které se dotýkají konkrétně území obce Třebešov.

### 1.1. Obec

Obce jsou základními jednotkami území každého státu. Díky dlouhé historii osídlení na našem území je možné dohledat záznamy o dané obci daleko do minulosti. Podmínky pro bydlení v takových obcích se v průběhu let neustále mění. V každém historickém období byl důraz kladen na jiné potřeby a některá sídla tak nemusí přesně odpovídat dnešním potřebám.

#### 1.1.1. Obecné informace

Obec Třebešov se nachází ve východních Čechách, Královéhradeckém kraji, okrese Rychnov nad Kněžnou. Celková plocha katastrálního území je 313 ha. Ke dni 01. 01. 2016 v obci žilo 267 obyvatel. Nadmořská výška obce je 304 metrů nad mořem.



**Obrázek 1:** Umístění Třebešova v rámci České republiky a znak obce (Risy.cz, c2012-2016)

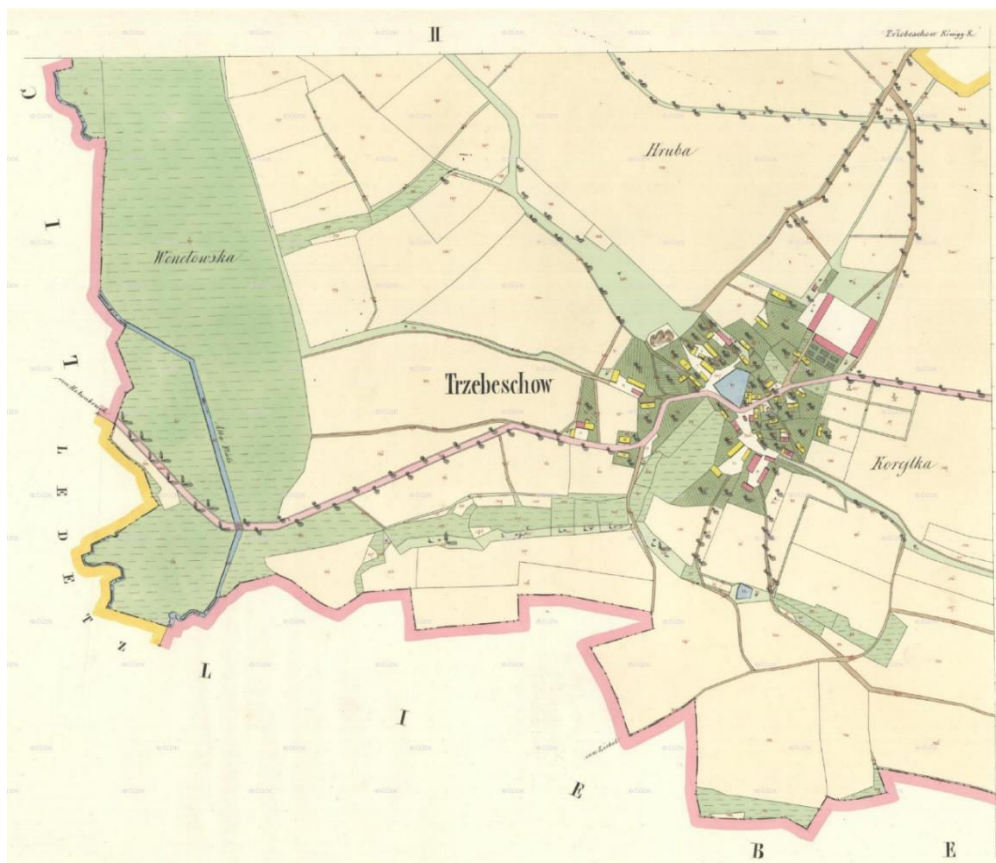
Podle záznamů mnichů Břevnovského kláštera se první zmínky o obci datují do roku 1360. Území obce je však součástí rozsáhlého rovinatého území, které se rozprostírá jihozápadně od Krkonoš a Orlických hor. Díky příznivým přírodním a klimatickým podmínkám bylo území osídleno již ve starší době kamenné a patří k oblastem s nejdéle trvajícím osídlením v Čechách. Díky archeologickým nálezům je možné potvrdit osídlení území zhruba 1000 let př. n. l. kulturou lidu popelnicových polí (více v odstavci Chráněná území). Další informace o osídlení jsou až z 15. století, kdy se v centrální části obce nacházela tvrz a osídlení bylo soustředěno v jejím okolí. Původním vlastníkem tvrze byl rod Slavníkovců. Tento rod posléze podlehl rodu Vršovců a ti tvrz obsadili. Kolem roku 1426 byly vesnice i tvrz vypáleny a po několika letech obnoveny. V období husitských válek došlo k vyvraždění obce a konečnému zničení tvrze. Správa obce Třebešov poté přešla na Rychnov nad Kněžnou.

Díky velkému množství kvalitních zemědělských půd v okolí se obec vyvíjela jako sídlo orientované zejména na zemědělství. Tomu odpovídá dochovaná zástavba a historické záznamy o několika velkých hospodářských statcích. Největší hospodářský dvůr se podle stabilního katastru z roku 1840 nachází v severovýchodní části obce. Dnes se na jeho místě nachází sídlo společnosti MATRIX a.s. Dle serveru Risy.cz je v současné době v obci jedna akciová společnost, sedm obchodních společností a třicet tři živnostníků.

Obec je v současné době členem několika spolků a sdružení podporujících rozvoj venkovských sídel a obnovu krajiny. Prvním takovým spolkem je Dobrovolný svazek obcí Mikroregion Rychnovsko (dále DSO). Byl založen dne 06. 01. 2004. V současné době má DSO celkem 30 členských obcí. Cílem DSO je vzájemná pomoc obcí v regionu při rozvoji sídel, aby

dosahovaly evropských standardů a vývojových trendů 21. století ve všech oblastech lidského života. Dalším sdružením je Vodovodní svaz Císařská studánka, založený dne 30. 03. 1994, zabývající se zásobováním vodou, odváděním a čištěním odpadních vod v dané oblasti. V současné době má svaz 9 členských obcí. Dalším spolkem je Svazek obcí Dolní Bělá, založený dne 13. 07. 2000 za účelem komplexního rozvoje obcí. V současné době má svaz 7 členských obcí. Posledním spolkem, do kterého obec Třebešov patří, je Sdružení SPLAV, z. s. Sdružení bylo založeno dne 15. 12. 2004. Toto sdružení má 13 obcí a 38 dalších subjektů a působí na území 39 obcí v regionu. Cílem sdružení je pečovat o kulturní a hospodářský rozvoj regionu, propagovat obnovu venkova a účastnit se evropské spolupráce při obnově venkova.

V katastrálním území obce se nachází několik prvků Územního systému ekologické stability (dále ÚSES). Podél západní hranice katastru protéká řeka Bělá, dříve nazývaná Alba. Oblast kolem toku se nachází v jeho záplavovém území. V Koordinačním výkresu územního plánu je vynesena hranice Q100. Žádná část zastavěného ani zastavitelného území se nenachází v tomto záplavovém území. V severní části katastru, na společné hranici s obcí Černíkovice, se nachází část natěženého ložiska nerostných surovin – cihlářské suroviny. V území nejsou evidovány dobývací prostory, poddolovaná ani sesuvná území.



**Obrázek 2:** Císařské povinné otisky map stabilního katastru Čech (1824–1843). Obec Třebešov – původně Trzebeschow. (Ústřední archiv zeměměřičství a katastru, 2017)



**Obrázek 3:** Satelitní snímek obce Třebešov (Google maps, c2017)



### **1.1.2. Územní plán**

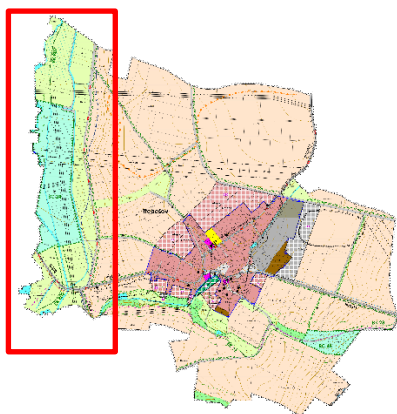
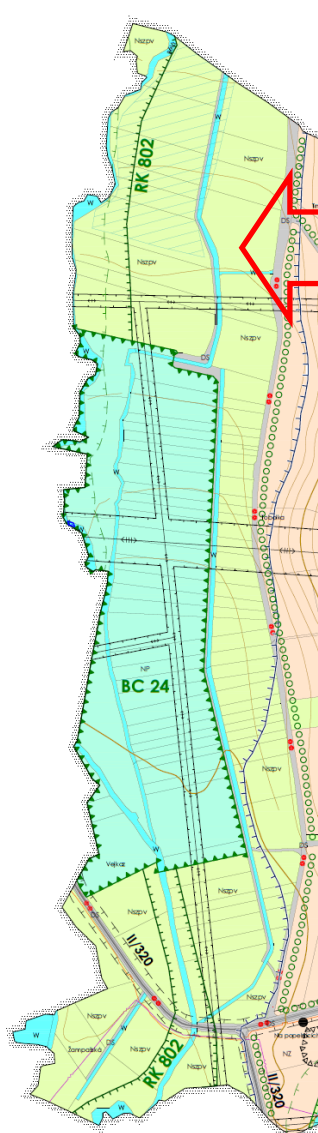
Aktuálně platný územní plán obce Třebešov vstoupil v účinnost v roce 2013. Nahradil dřívější územní plán obce z roku 2000. Pořizovatelem územního plánu je Městský úřad Rychnov nad Kněžnou, objednatelem je Obec Třebešov a zhotovitelem je ŽALUDA, projektová kancelář, Železná 493/20, 110 00 Praha 1.

V územním plánu bylo vyčleněno území pro budoucí výstavbu čistírny odpadních vod na jihozápadním okraji obce, na pozemcích parcelní číslo 3024 a 3027; k. ú. Třebešov. V územním plánu je tato plocha označena jako TI – Technická infrastruktura – technické sítě. Hlavní způsob využití jsou plochy technické infrastruktury – stavby a provozně související zařízení technického vybavení, zejména vodojemy, čistírny odpadních vod, stavby a zařízení pro nakládání s odpady, trafostanice, komunikační vedení, energetická vedení, vodovody, kanalizace.

#### **Prvky ÚSES**

Pro zachování současného stavu ekologické stability a jeho trvalého udržení jsou územním plánem navržena opatření, jak upravit a propojit všechny biokoridory a biocentra v katastrálním území obce. Tato opatření se řídí zákonem 114/1992 Sb., o ochraně přírody a krajiny, ve znění pozdějších předpisů.

## Regionální prvky



Po západní hranici katastru obce vede regionální biokoridor **RK802 Bělá**, v generelu označeném RBK 2 – Bělá, vede podél toku

řeky Bělé. Široký je 55 metrů a má délku 900 metrů. Ve střední části je rozdělen lokálním biocentrem **BC 24 Venclovská**. Celý biokoridor prochází katastrálním územím obcí Černíkovice, Libel, Lično, Třebešov a Synkov. Tok řeky Bělé není regulován, protéká širokou údolní nivou s častými meandry a nádržemi. Okolní plochy jsou udržovány převážně s trvalým travnatým povrchem. V dřevinném patře se v koridoru nejčastěji vyskytují zástupci olšin, vrbin, najdou se zde také duby nebo javory. V bylinném patře pak najdeme hlavně zástupce kopřiv a netykavek. Přesný výčet je možné dohledat v textové části územního plánu.

**Obrázek 4:** Regionální biokoridor a lokální biocentrum  
(Žaluda, 2013)

## Lokální prvky

Na západní hranici katastru obce se také nachází největší biocentrum **BC 24 Venclovská**. Biocentrum vzniklo spojením dvou menších center BC24 Luční mlýn a BC24 U teletníku. V současné době má rozlohu 17,07 ha. Charakter i rostlinné prvky jsou shodné s prvky v biokoridoru **RK802 Bělá**. U obou prvků ÚSES je navrženo vymýcení nepůvodních druhů dřevin, hlavně pámelník, javorovec a hybridní topoly.

Celé území údolní nivy se nachází v záplavovém území řeky Bělé. Hranice záplavového území Q100 je znázorněna v Koordinačním výkresu územního plánu.

V jihovýchodní části katastru obce se nachází druhé lokální biocentrum **BC48 Pod Voříškem**. Jeho rozloha je 3,49 ha. Nachází se na bývalém obecním pastvišti, kterým procházela historická přístupová cesta z 18. století. V současné době je většina biocentra zalesněna. V rámci územního plánu je navrženo rozšíření. Dřevinné patro je zastoupeno hlavně listnatými stromy.

V jižní části katastru od východu na západ území se táhne lokální biokoridor **BK23 Voříšek**. Má šířku 35 metrů a délku 1 700 metrů. Prochází katastry obcí Libel, Třebešov, Slemeno. Ve východní části je rozdělen lokálním biocentrem **BC 48 Pod Voříškem**. Dolní částí koridoru protéká Třebešovský potok, který se vlévá do řeky Bělé. V koridoru se dále nachází Šmejdův rybníček a bývalá hasičská nádrž Koupaliště, dnes využívaná k rybolovu. Lesní prostory v koridoru tvoří hlavně listnaté dřeviny. V prostorách nivy vodního toku to jsou vrby, jasany a další. Přesný výčet je možné dohledat v textové části územního plánu. Je navržena výsadba podél Třebešovského potoka až k regionálnímu biokoridoru **RK802 Bělá** za

účelem zajištění spojitosti od lokálního biocentra **BC48 Pod Voříškem**. V rámci biokoridorové trasy je povoleno umístit kořenovou čistírnu odpadních vod a dočišťovacích nádrží.



**Obrázek 5:** Lokální biocentrum a lokální biokoridor (Žaluda, 2013)

### 1.1.3. Kanalizační systém

V současné době není v obci vybudováno vedení splaškové kanalizace. Nachází se zde úseky dešťové kanalizace vedené podél hlavních komunikací, zaústěné na několika místech do Třebešovského potoka, který obcí protéká od severovýchodu na západ. Vedení dešťové kanalizace je zhotoveno z betonových trub o průměru 600 mm. Odkanalizování objektů v obci je řešeno jímkami na vyvážení, nebo domovními septiky s přepady do vedení dešťové kanalizace. O budování oddílné kanalizační sítě se v současné době neuvažuje především z ekonomických důvodů. Vznik splaškové kanalizační sítě je také podmíněn vybudováním čistírny odpadních vod.

Při výstavbě nových rodinných domů je obecně doporučováno zřízení domovních čistíren odpadních vod, případně jímek na vyvážení. Srážkové vody jsou z důvodu zpomalení odtoku vody z území primárně akumulovány a zasakovány na pozemcích.



**Obrázek 6:** Vyústění dešťové kanalizace do Třebešovského potoka (mapa Katastr nemovitostí, c2004-2017, foto autor, 2016)

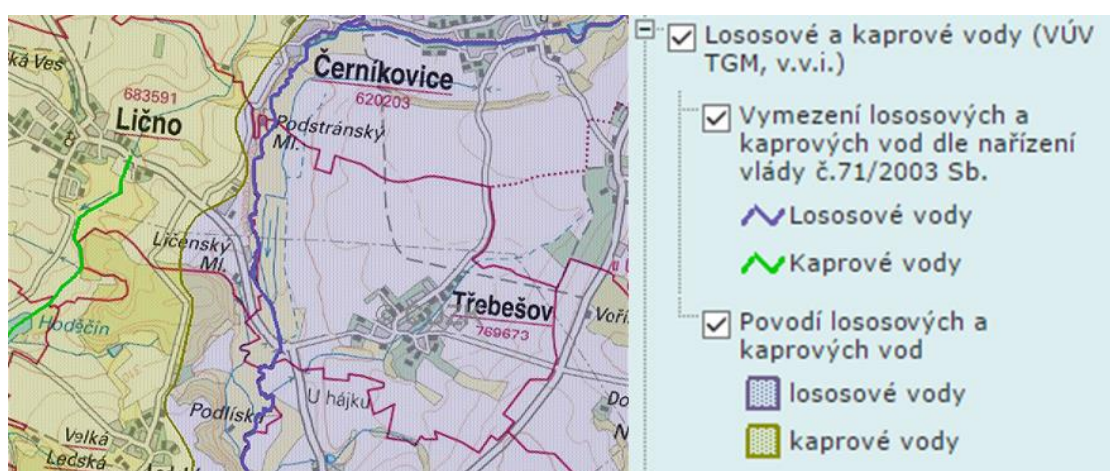
## 1.2. Povodí

Území obce patří do působnosti státního podniku Povodí Labe (dále PLa). Koordinační oblast povodí Horní a střední Labe, celková rozloha této oblasti je 13 469,57 km<sup>2</sup>. Území obce se nachází v Hydrologickém povodí 4. řádu číslo 1-02-01-0640-0-00 podle ČHMÚ. Plocha Hydrologického povodí je 10,93 km<sup>2</sup>. Páteřním vodním tokem území je řeka Bělá. Od pramene po místo soutoku s řekou Divoká Orlice měří 40,571 km. Řeka Bělá protéká po západní hranici katastrálního území obce Třebešov. Zastavěným územím obce protéká Třebešovský potok. Měří 2,777 km a vlévá se do řeky Bělé. Třebešovský potok je využíván pro odvod dešťových vod z území obce. Území se nachází v Chráněné oblasti přirozené akumulace podzemních vod Východočeská křída (více c odstavci Chráněná území).

Nařízení vlády č. 71/2003 Sb., o *stanovení povrchových vod vhodných pro život a reprodukci původních druhů ryb a dalších vodních živočichů*



a o zjišťování a hodnocení stavu jakosti těchto vod, ve znění pozdějších předpisů, člení území republiky na tzv. lososové a kaprové vody. Vodní toky v těchto územích mají splňovat předepsané hodnoty jakosti vody, aby byla zajištěna reprodukce původních druhů ryb a dalších vodních živočichů. Vody, nacházející se v lososovém pásmu, mají umožnit reprodukci druhům ryb náchylnějším na její čistotu, jako jsou ryby lososovité a lipanové. V kaprových vodách je požadováno zajištění kvality vody potřebné pro reprodukci ryb kaprovitých, štik, okounů a úhořů. Monitoring lososových a kaprových vod zahrnuje přibližně 650 profilů z monitorovacích sítí sedmi subjektů – ČHMÚ, všech pěti státních podniků Povodí a ZVHS. V rámci monitoringu se posuzuje celkem 13 ukazatelů, pro které jsou legislativně přesně předepsané přípustné hodnoty – rozpuštěný kyslík, volný amoniak, amonné ionty, teplota, pH, celkový chlor, ropné látky, fenoly, veškerý zinek a hodnoty cílové – BSK<sub>5</sub>, nerozpuštěné látky, dusitany, rozpuštěná měď. Vodní tok Bělá a celé území obce se nachází v lososovém pásmu.



**Obrázek 7:** Vymezení lososových a kaprových vod v řešeném území (heis.vuv.cz, c2002-2017)

### 1.3. Chráněná území

V celé České republice se předpokládá možný výskyt archeologicky zajímavých nálezů. V Třebešově se nachází tři lokality archeologického zájmu, přesně vymezené v územním plánu. Tyto lokality mají podle Státního archeologického seznamu ČR čísla 14-13 09/2 „Pod Hájkem“, 14-13 09/3 600 metrů od středu obce a 14-13 09/9 Třebešov. Všechny tyto oblasti spadají do kategorie území s archeologickými nálezy (ÚAN) I a správcem těchto území je Muzeum Orlických hor. Celé správní území obce je však v kategorii ÚAN III, vyjma zmiňovaných lokalit, tedy v území, na němž dosud nebyl rozeznán a pozitivně prokázán výskyt archeologických nálezů. V lokalitách 14-13 09/3 a 14-13 09/9 se předpokládá výskyt artefaktů pocházejících ze středověku. Především pozůstatky středověké tvrze, která se zde nacházela.

Lokalita 14-13 09/2 „Pod Hájkem“ se nachází v jihozápadní části katastru obce. V této lokalitě byly nalezeny pozůstatky tzv. lidu popelnicových polí z mladší doby bronzové. Dle publikace pana Víta Vokolky – „Pohřebiště a sídliště lidu popelnicových polí v Třebešově,“ z roku 1966, zde probíhaly výkopové práce od října 1909 skupinami pracovníků muzea z Hradce Králové a Národního muzea v Praze. Celkem bylo odkryto a prozkoumáno 153 hrobů s různými archeologickými nálezy. Tyto nálezy jsou rozděleny mezi několik muzeí a sbírky soukromých sběratelů. Největší část je uložena v muzeu v Hradci Králové, další jsou pak v Národním muzeu v Praze, muzeu v Rychnově nad Kněžnou, Kostelci nad Orlicí, Týništi nad Orlicí, Vamberku a Chocni. Zákresy přesného umístění hrobů se nedochovaly. Přepokládaná místa vykopávek pochází od pracovnice Muzea Orlických hor, PhDr. Martiny Bekové, obdržena pro účely této práce dne 20. února 2017.



**Obrázek 8:** Umístění pohřebiště lidu popelnicových polí v obci Třebešov a pomník u pohřebiště (mapy.cz, c2015, foto autor, 2017)

Dále se zmiňované území nachází v Chráněné oblasti přirozené akumulace podzemních vod Východočeská křída. Činnost v této oblasti je upravena Nařízením vlády č. 85/1981 Sb., *Nařízení vlády České socialistické republiky o chráněných oblastech přirozené akumulace vod Chebská pánev a Slavkovský les, Severočeská křída, Východočeská křída, Polická pánev, Třeboňská pánev a Kvarter řeky Moravy*, ve znění pozdějších předpisů. V tomto území je dle výše uvedeného nařízení omezeno odlesňování, odvodňování a povrchová těžba narušující přirozený vodní režim.

Celé území obce se také nachází v leteckém koridoru TSA neboli Dočasně vyhrazený prostor, z anglického Temporary Segregated Area. Jde o oblast vzdušného prostoru ve výšce od 100 do 300 metrů a šířce 5 kilometrů. V tomto koridoru je dočasně povolen provoz jedné složky letectví na úkor ostatních, nejčastěji se jedná o armádní lety. Těmto prostorům se také říká koridory nízkého navádění a slouží pro přízemní přelety letadel z vojenských letišť do výcvikových prostorů.



## **2. Vegetační kořenové čistírny**

V dnešní době se začíná více a více klást důraz na přírodě blízká řešení. V rámci čištění odpadních vod to jsou například vegetační kořenové čistírny odpadních vod. Jak už název napovídá, svou roli v tomto procesu čištění mají také kořeny rostlin. Jak se však ukazuje z výzkumů prováděných v posledních letech, význam rostlin nehraje až tak významnou roli, jak se dříve předpokládalo. Hlavní slovo v průběhu čištění mají mikroskopické bakterie, které například mohou být vázány na kořeny rostlin, ale spíše jako symbiotický partner. Díky kořenům rostlin se totiž do náplně filtru lépe dostává životadárný kyslík, který bakterie potřebují pro svůj život.

Jak už to tak v přírodě bývá, každý živý organismus má svůj vlastní biologický cyklus. Podmínky v našem podnebném pásu nejsou v průběhu roku stejné, a proto u některých organismů dochází v období s nižší venkovní teplotou k utlumení životních funkcí některých organismů. Proto musíme při návrhu vegetační kořenové čistírny počítat s tím, že v zimním období bude docházet ke zvýšení koncentrací některých hodnot, právě z toho důvodu, že bakterie, které pomáhají čistit odpadní vodu, jsou v útlumu. Stejně tak není možné dosahovat požadovaných hodnot znečištění okamžitě po zprovoznění takové čistírny. Organismům podílejícím se na procesu čištění musí být dán čas k růstu a k rozšíření se do celého zemního filtru.

### **2.1. Mechanické předčištění**

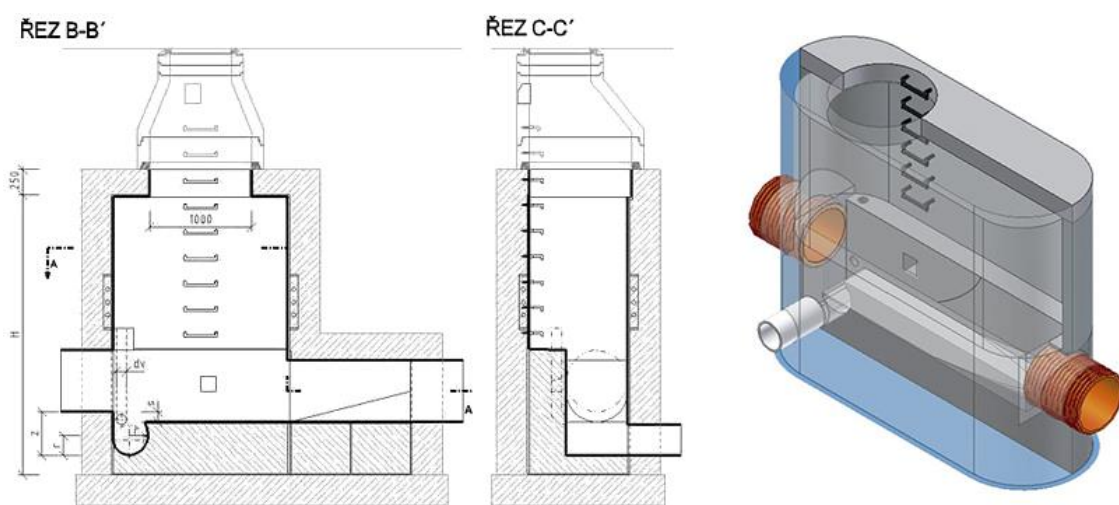
Kvalitní, funkční a s požadovanou účinností navržené mechanické předčištění odpadních vod je nezbytnou součástí všech přírodních způsobů čištění. Uspořádání mechanického stupně předčištění závisí na původu, množství, složení odpadních vod, typu kanalizační sítě nebo počtu

připojených obyvatel. Pro malé producenty odpadních vod se primárně navrhuje biologický septik, v některých případech usazovací nádrž. U větších producentů navrhujeme kompletní systém mechanického předčištění obsahující hrubé a jemné česle, lapák písku, lapák tuků a olejů a usazovací nádrž. Je možné navrhnout i velkoobjemový septik, který umožní lepší prostředí pro vyhnívací procesy. Nevýhodou velkoobjemových septiků je však jejich cena. Pokud hodláme budovat čistírnu odpadních vod pro jednotnou kanalizační síť, musíme ještě před systém mechanického předčištění navrhnout odlehčovací komoru, která zajistí návrhový průtok na čistírnu i v době dešťového průtoku.

### **2.1.1. Odlehčovací komory a dešťové zdrže**

Odlehčovací komory nepatří přímo mezi objekty mechanického předčištění na čistírně, ale mezi objekty stokové sítě. Pokud však navrhujeme čistírnu odpadních vod pro jednotnou kanalizační síť, musíme odlehčovací komoru umístit na stokovou síť, aby z celkového průtoku vody oddělovala takové množství vody, které převyšuje návrhový průtok na čistírnu. Tato voda je pak odváděna odlehčovací stokou buď do recipientu, nebo do dešťové zdrže. Oddělení probíhá nejčastěji přepadem přes přeliv, jehož koruna je umístěna nade dnem odlehčovací komory ve výši odpovídající průtoku a stupni nařazení splaškových odpadních vod, při němž má být odlehčovací komora uvedena do činnosti. Pokud odlehčovací komoru navrhujeme mimo pozemek čistírny odpadních vod na stokové síti, je možné nařazenou vodu vypouštět přímo do recipientu. Navrhne-li komoru na pozemku čistírny odpadních vod, musíme vodu zadržovat v dešťové nádrži a po skončení zvýšeného průtoku přečerpáváme vodu z nádrže před odlehčovací komoru a pouštíme do koloběhu čištění. Mezi základní typy odlehčovacích komor se řadí – komory s přepadem bez

regulace odtoku s přepadem přímým, jednostranným nebo oboustranným, komory se škrťací tratí s přepadem, komory s přepadajícím paprskem, komory s horizontální dělicí stěnou a ostatní odlehčovací komory. Vhodným řešením je možnost využívat prefabrikované odlehčovací komory. Možným řešením je například šterbinová odlehčovací komora, od firmy ASIO spol. s.r.o., model AS-ŠOK vhodný do terénu s mírným sklonem. Voda odváděná na čistírnu je transportována potrubím o menším průměru v kolmém směru na přívodní stoku.



**Obrázek 9:** Řez a axonometrie odlehčovací komorou typu AS-ŠOK (řez – tzb-info.cz, 2004, axonometrie – asio.cz, c2011-2017)

Dešťové nádrže musí být navrhovány u každé odlehčovací komory. Jejich hlavní funkcí je zamezit odnosu znečištěných dešťových vod nebo naředěných odpadních vod do vodních recipientů. Navrhujeme je jak na jednotné, tak na oddílné kanalizační síti. U odlehčovací komory na oddílné kanalizaci je nutné dešťovou nádrž navrhnout také, aby nedocházelo k přívalové vlně v recipientu nebo zanášení recipientu oplachy povrchů. Dešťové nádrže nenahrazují čistírnu. Zachycené znečištěné odpadní vody se doporučuje odvádět na čistírnu. Výhodné je dešťové nádrže navrhovat jako uzavřené podzemní nádrže. Díky tomu není nutné vytyčovat hygienické

ochranné pásmo. Pokud toto není možné, pro nádrže s otevřenou hladinou a objemem do 400 m<sup>3</sup> vyznačíme hygienické pásmo 50 metrů, kde se nesmí nacházet žádné obytné stavby, u nádrží nad 400 m<sup>3</sup> má toto pásmo 100 metrů. Konstrukčně jsou dešťové nádrže většinou umělé betonové. U oddílné kanalizace mohou být navrhovány jako nádrže přírodní – např. nebeské rybníky nebo poldry. Při odstávce čistírny je možné dešťovou nádrž dočasně využít jako zachytnou nádrž. Zachycené naředené splaškové vody mají být z nádrže odvedeny na čistírnu do 8 hodin po skončení odtoku dešťových vod z jednoho deště. Konceptně může být navržena jedna velká nádrž na spočítaný objem, možným řešením je také navržení dvou menších nádrží, kde druhá nádrž bude tvořit bezpečnostní pojistku. Nebo je možné nádrž opatřit bezpečnostním přelivem, aby v případě překročení



předpokládaného objemu došlo k odvedení přebytečných vod do recipientu. Návrh dešťových nádrží podléhá pravidlům uvedeným v normě ČSN 75 6261.

**Obrázek 10:** Dešťová zdrž (Křiška, 2017)

### 2.1.2. Česle

Česle slouží k zachytávání velkých plovoucích nečistot dopravovaných vodou, aby nedošlo k poškození čerpadel v dalších částech čistírny. Jsou tvořeny řadou ocelových prutů neboli česlic, kruhového, obdélníkového

nebo lichoběžníkového profilu. Dělíme je na hrubé česle a jemné česle, podle velikosti mezer mezi česlicemi. U hrubých česlí jsou rozestupy česlic od 50 do 200 milimetrů. Navrhují se obvykle pod úhlem  $30^\circ - 60^\circ$  u strojně stíraných česlí, u ručně stíraných česlí se volí sklon  $45^\circ$ . Zachytávané nečistoty, tzv. shrabky, musí být odstraňovány, aby nedocházelo k ucpávání koryta. Stírání hrubých česlí, z důvodu menšího objemu shrabků, probíhá většinou ručně. Jemné česle mají rozestupy mezi česlicemi 10 až 20 milimetrů. Množství shrabků zde bývá větší a je nutné česle čistit častěji. Stírání se proto navrhuje strojně. Veškeré shrabky je nutné uchovávat



například v odpadním kontejneru a následně je likvidovat předepsaným způsobem. Pokud shrabky neobsahují žádné škodlivé látky, je možné je po vysušení spalovat, skládkovat nebo například kompostovat. Strojně stírané česle je nutné chránit před povětrnostními vlivy konstrukčními nebo stavebními úpravami. Z důvodu možné poruchy strojně stíraných česlí je nutné navrhnout česle zdvojené nebo rezervní.

**Obrázek 11:** Ručně stírané česle (Křiška, 2017)

V prostoru před i za česlemi nesmí být místa, kde by mohlo docházet k usazování nerozpuštěných nebo k zachytávání plovoucích látek unášených odpadními vodami. Rychlost vody při průtoku mezi česlicemi při návrhovém průtoku by měla být v rozmezí 0,3 m/s až 0,9 m/s. Při menších rychlostech dochází k nežádoucí sedimentaci písku, při vyšších naopak ke strhávání

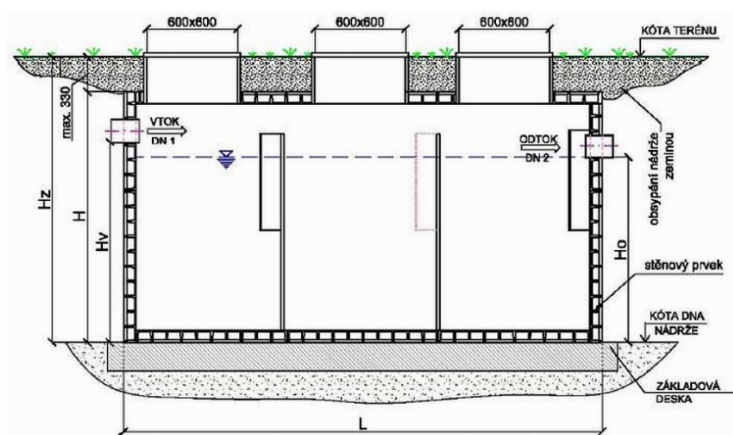
zachycených nečistot. U malých obcí do 600 EO je možné na přítoku na čistírnu osadit pouze jedny ručně stírané česle.

### **2.1.3. Septiky**

Septiky jsou objekty převážně sloužící k mechanickému předčištění splaškových odpadních vod. Ve výjimečných případech je možné septiky navrhovat jako samostatný čistící článek. Nejčastěji je touto výjimkou samostatně stojící objekt do 5 EO. Konstruktivně bývají septiky dvoukomorové nebo tříkomorové. Do každé z komor musí být zajištěný přístup otvorem ve stropě septiku. V dělicích příčkách jednotlivých komor jsou otvory dovolující proudění odpadních vod. Tyto otvory musí být umístěny minimálně 300 milimetrů pod hladinou a 400 milimetru nade dnem, aby nedocházelo k transportu plovoucího kalu. Hlavním důvodem navrhování septiků je zachytávání nerozpuštěných látek. Zachycením nerozpuštěných látek a případnými aerobními procesy dochází v septiku zároveň ke snížení organického znečištění, hodnoty BSK o cca 15–30 % a koncentrace nerozpuštěných látek o cca 50 %. Hodnota závisí hlavně na době zdržení. Minimální doba zdržení, se kterou se počítá, je 5 dnů. Použití septiků je nejčastěji jako předstupeň dalšího stupně čištění – např. zemním filtrem, biofiltry, kořenovými čistírnami apod. Aby byla zajištěna řádná funkčnost septiku, je nutné navrhnout odpovídající objem vyhnívacího prostoru. Výpočet pro stanovení objemu septiku je uvedený v kapitole 7.4.3 normy ČSN 75 6402. Výpočtový vzorec uvedený v normě je možné aplikovat pouze pro malé producenty odpadních vod. Pokud budeme navrhovat septiky pro větší producenty, je nutné do výpočtu zahrnout balastní vody, které se do kanalizačního systému dostanou. Orientačně se dá uvažovat s objemem 0,6 m<sup>3</sup>/obyvatele, minimálně však 3 m<sup>3</sup>/obyvatele. Septiky je také nutné pravidelně vyklízet dle provozního řádu dané čistírny, minimálně



však 1krát ročně. Při vyklízení se ze všech komor odstraní usazený kal. Aby byl zajištěn dřívější nástup čistících procesů v septiku, ponechává se na dně komor cca 150 milimetrů usazeného aktivovaného kalu. Vyklizený kal se následně odváží k dalšímu zpracování – např. kompostování. Septiky by měly vyhovovat požadavkům jak ČSN EN 12566-1 tak ČSN 75 6402. S narůstajícím objemem septiku se také velmi zvyšují jeho pořizovací náklady. Je proto nutné posoudit, zda je pro navrhovaný projekt septik správným řešením.



**Obrázek 12:** Uspořádání tříkomorového prefabrikovaného septiku (publikace *Hospodaření s vodou v budovách určených k dočasnému nebo trvalému pobytu*)

Pro přírodní způsoby čištění odpadních vod je velmi důležité kvalitní mechanické předčištění s vysokou schopností zachycovat nerozpuštěné látky, aby nedocházelo ke kolmataci filtračního materiálu v dalším stupni čištění. Toho je možné docílit doplněním klasických septiků o vložený síťový filtr na zachycení hrubších nečistot. Případně mezi septik a hlavní část biologického čištění vložit menší horizontální kořenovou čistírnu, u které bychom počítali s kolmatací.

Novějším řešením jsou tzv. anaerobní separátory. Jedná se o inovativní formu septiku s optimalizovanou a prodlouženou dobou zdržení a zvýšenou účinností. Konstrukčně je separátor upraven tak, aby byl v maximální možné míře využit celkový objem a bylo tudíž zabráněno

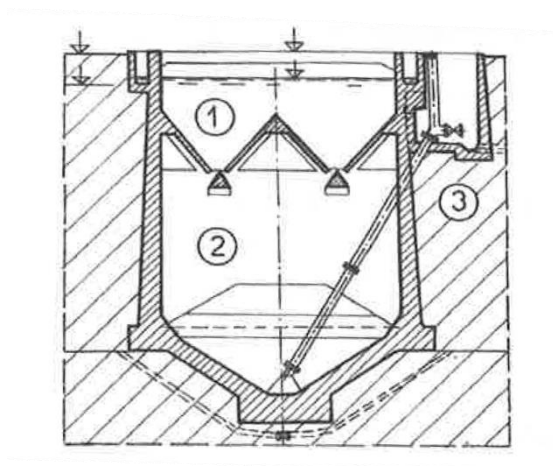
zkratovému proudění. Doba zdržení je minimálně 4 dny a objem separátoru 4 m<sup>3</sup>. Členěn je separátor minimálně na tři komory. Na odtoku je pak osazen vyjímatelný filtr plovoucích nečistot.

#### **2.1.4. Štěrbínové usazovací nádrže**

V případech, kdy se nevyplácí navrhování septiků, je možné navrhnout štěrbínovou nádrž. Jedná se o zvláštní typ usazovací nádrže, jejímž hlavním smyslem je zachycení jemných kalových částic. Konstrukčně je nádrž rozdělena na dva prostory nad sebou spojené úzkou štěrbínou. Horní prostor slouží k usazování kalu, dolní prostor pak k následnému vyhnívání usazeného kalu. Na přítoku do nádrže je navržen upravený žlab, aby bylo zajištěno rovnoměrné rozdělení odpadní vody po celé šířce nádrže. Před odtokovým žlabem z usazovacího prostoru musí být osazena norná stěna, zabraňující odplouvání plovoucích nečistot, tuků a olejů. Norná stěna by měla sahat minimálně 300 milimetrů pod hladinu a 200 milimetrů pod hladinu usazovací nádrže. Boční stěny usazovacího prostoru štěrbínové nádrže jsou v minimálním příčném sklonu 1,4:1. Šířka štěrbiny oddělující usazovací a vyhnívací prostor musí být minimálně 120 milimetrů. Velikost vyhnívacího prostoru je závislá na počtu obyvatel připojených na čistírnu. Pokud do tohoto prostoru nepřivádíme přebytečný biologický kal, navrhujeme specifický objem 150 l/EO. Tento objem počítá s vyklízením vyhnívacího prostoru 1x až 2x ročně. Pokud v provozních podkladech specifikujeme četnost vyklízení vyhnívacího prostoru vícekrát ročně, můžeme velikost tohoto prostoru úměrně tomu zmenšit. Případně můžeme štěrbínovou usazovací nádrž zkombinovat s malou horizontální kořenovou čistírnou, u které bude častější kolmatace přípustným doprovodným jevem, a díky tomu bude možné vyhnívací prostor zmenšit. Z důvodu jednoduššího vyklízení vyhnívacího prostoru, navrhujeme dno nádrže ve sklonu ke kalové



prohlubni, odkud může být kal odčerpán. Pro správné fungování nádrže je nutná minimální doba zdržení. Pokud je šterbinová usazovací nádrž navržena jako předčištění před vegetační čistírnou, předpokládaná doba zdržení je podle normy ČSN 75 6402 4 až 6 hodin. Usazovací nádrž je vhodné chránit před povětrnostními vlivy, aby nedocházelo k nežádoucímu zarůstání hladiny usazovací nádrže řasami.



**Obrázek 13:** Řez šterbinovou usazovací nádrží (publikace *Přírodní způsoby čištění znečištěných povrchových a odpadních vod*, 2006)



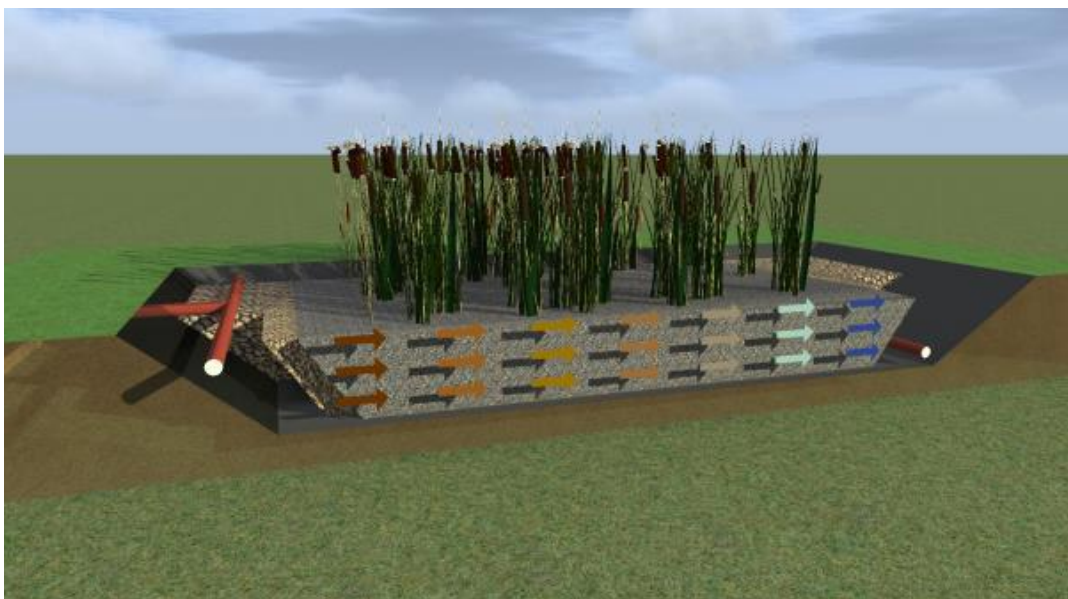
**Obrázek 14:** Šterbinová usazovací nádrž (Křiška, 2017)

## **2.2. Horizontální filtr**

Jedním z možných řešení vegetační kořenové čistírny odpadních vod je tzv. Horizontální filtr. V následujících bodech se pokusím přiblížit princip jeho fungování, navrhování a jaká je jeho úloha v dnešní době.

### **2.2.1. Princip**

Horizontální filtry jsou díky své jednodušší konstrukci navrhovány častěji. Název vychází z hlavního směru proudění odpadní vody od přívodního potrubí k odtokovému. Konstrukčně se jedná o vyhloubenou jámu cca 1 metr hlubokou s vyspádanými bočními stěnami. Sklon stěn je nejčastěji v poměru 1:1, důležité je v tomto případě dostatečné zhutnění, aby nedocházelo k případnému porušení vlivem hydrostatického tlaku. Pokud navrhujeme filtr v jílovitých zeminách se špatnou nasákavostí, je možné použít jílu jako izolaci proti unikání čištěné vody z filtru. Pokud tomu tak není, je nutná dodatečná hydroizolace pomocí polyethylenových fólií odolných proti UV záření, které chráníme netkanou textilií z obou stran. Přívodní potrubí je umístěno na jedné z kratších stran filtračního pole v horní části. Sběrné potrubí je naproti tomu umístěno na druhé straně filtračního pole u dna. U obou potrubí se jedná o PVC potrubí s perforací. Na přítoku se perforace navrhovala například jako otvory o velikosti 20 milimetrů po vzdálenosti 1 500 milimetrů. Samotný návrh přívodního rozdělovacího potrubí nemá však na výsledné vlastnosti čistírny nijak zásadní vliv.



**Obrázek 15:** Schéma horizontálního filtru (publikace Metodická příručka pro povolování, návrh, realizaci a provoz, 2015)

Vliv vegetace na čisticí procesy se předpokládá, ale není pro fungování čistírny zásadním faktorem. Nejčastěji filtrační pole jsou osazovány druhy mokřadních rostlin jako například rákos obecný, chrastice rákosovitá nebo orobince. Po okrajích se občas vysazují trsy jiných bažinných rostlin jako kosatec žlutý, skřípinec jezerní a jiné, jde však jen o zlepšení estetického vzhledu. Přínosnější jsou spíše doprovodné efekty vyvolané vegetací. Jedná se například o ochranu a stabilizaci povrchu filtrační náplně, vhodné prostředí pro mikroorganismy přítomné v náplni, částečně chrání před ucpáváním filtru, umožňuje lepší přísun kyslíku do náplně filtru v blízkosti kořenů, zvyšuje estetickou hodnotu a umožňuje lepší začlenění do krajiny.

### **2.2.2. Filtrační materiál**

Jako náplň filtru jsou nejvhodnější plavené říční štěrkopísky s oválnými zrny, nevylučuje se však ani použití drceného lomového

kameniva. Z provozních zkušeností se nedoporučuje používat různé frakce kameniva, při provozu není možné zajistit homogenní hydraulickou propustnost. Nejčastěji se dnes používají hrubozrnné materiály se zrnitostí minimálně 4–8 nebo 8–16 milimetrů. V částech kolem přívodního a sběrného potrubí by měla být zrnitost přesto větší, 16–32 milimetrů, aby voda mohla v dané oblasti rychleji proudit. Aby nedošlo ke kolmataci bezprostředně po naplnění filtru, doporučuje se používat prané šterky a písky z důvodu snížení množství prachových částic.

Menší frakce kameniva se jeví jako vhodnější varianty. Vytváří se tak větší specifická plocha filtru a díky tomu tak prostor pro růst mikroorganismů. Větší množství mikroorganismů znamená vyšší účinnost. Největší podíl na znečištění BSK<sub>5</sub> a CHSK však tvoří plovoucí znečištění a nerozpuštěné látky (NL), na které působí zejména proces filtrace. Tím dochází k zachytávání látek ve filtru, jeho ucpávání a ve výsledku ke snížení účinnosti celého filtračního pole.

### **2.2.3. Funkčnost**

V horizontálních filtrech převládá téměř vždy anaerobní prostředí. Hladina odpadní vody se nachází téměř na úrovni horní hranice filtrační náplně. Z důvodu pozvolného přitékání odpadní vody přívodním potrubím, nedochází k dostatečnému rozvedení odpadní vody po celé šířce filtru a tím pádem k nerovnoměrnému využití. Díky tomu může docházet v některých částech k dřívější kolmataci. Postupným ucpáváním dochází ke zvyšování obsahu organických látek. Z důvodu anaerobního prostředí tak dochází k jejich rozkladu za uvolňování bioplynu, hlavně metanu a amoniaku. Proto se může stát, že výsledné koncentrace na odtoku z filtru mohou ukazovat vyšší množství amoniaku, než jaké bylo na přítoku. Dalším doprovodným

jevem kolmatace je vznik zkratkových proudů. Ty fungují tak, že voda na přítoku nemůže projít přes ucpaný filtr a voda se proto rozleje po povrchu



filtru a k jejímu vsáknutí dojde až v zadní části, těsně u odtokového potrubí. Doba zdržení se tak zkrátí na pár minut, během kterých nemají mikroorganismy možnost odstranit nežádoucí látky.

**Obrázek 16:** Zanesené přírodní potrubí horizontálního filtru (publikace Metodická příručka pro povolování, návrh, realizaci a provoz, 2015)

Pokud se dostaneme k rekonstrukci takových filtrů, je několik způsobů, jak postupovat při revitalizaci. Nejzákladnější je vytěžit celý objem filtru a nahradit ho novým kamenivem. Toto řešení je však finančně nejnáročnější. Pokud byla použita jemná frakce kameniva, je dost možné že ucpaný filtr je pouze do hloubky několika centimetrů, a proto není nutné vytěžit celý objem. Celkově nejméně náročným zásahem do zakolmatovaného filtru je osazení výpustě pulsním vypouštěním. V tomto případě tak bude docházet k pravidelnému napouštění a vypouštění vody z filtru a díky tomu se bude do pórů kameniva dostávat vzdušný kyslík, který bude pomáhat tomu, aby filtr nebyl trvale anoxickým prostředím.

Důležité je si uvědomit, že ke kolmataci filtru bude docházet vždy. Vhodným návrhem mechanického předčištění můžeme předpokládaný provoz horizontálního filtru zvýšit na 15 a více let.

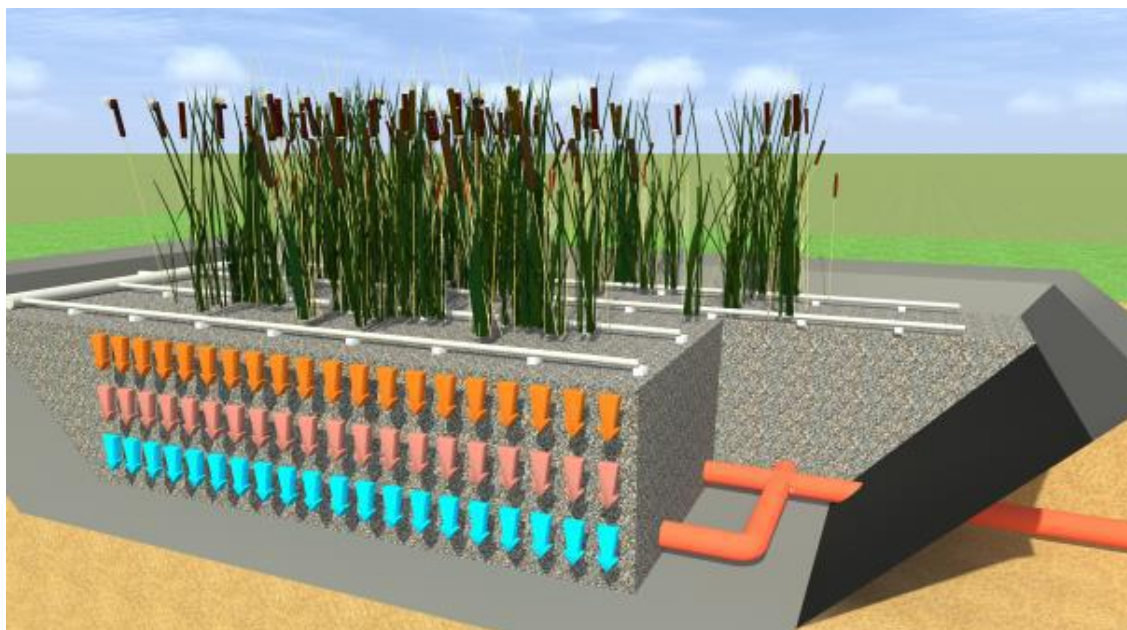


## 2.3. Vertikální filtr

Dalším řešením vegetační kořenové čistírny odpadních vod je Vertikální filtr. Díky novějším poznatkům a postupům se jedná o vhodnější řešení vegetační kořenové čistírny. V dalších bodech bych rád přiblížil, v čem jsou přednosti vertikálního filtru.

### 2.3.1. Princip

Jak už samotný název naznačuje, hlavní rozdíl, oproti horizontálnímu filtru, je směr proudění čištěné odpadní vody. U vertikálních filtrů dochází k proudění vody shora dolů. Voda je zde rozváděna rozdělovacím potrubím po co největší možné ploše filtru a následně sbírána a odváděna ze dna.



**Obrázek 17:** Schéma vertikálního filtru (publikace Metodická příručka pro povolování, návrh, realizaci a provoz, 2015)

Vývoj vertikálního filtru prošel více změnami než vývoj filtru horizontálního. Konstrukčně se velmi podobaly. Voda přitékající přívodním potrubím byla kontinuálně vypouštěna na filtr. Při rychlostech proudění

vody menších než 5 l/s však nedocházelo ke kompletnímu zaplnění potrubí a jeho rozvodu po celé ploše filtru. Vznikala tak stejně jako u horizontálního filtru více zatěžovaná místa. Další varianta využívala hydrostatického tlaku kapaliny. Přívodní potrubí z povrchu filtru bylo svedeno až na dno a voda postupně vzlínala vzhůru. Těsně pod povrchem filtru pak bylo svodné potrubí, které odvádělo vyčištěnou vodu pryč. Stejně jako u horizontálního filtru se zde počítá s celkovým zatopením, prostředí filtru je tedy anaerobní. Tato varianta řešení vertikálního filtru už však byla vyškrtuta z normy a s jejím navrhováním se již nepočítá.

Nejnovějším a momentálně nejúčinnějším způsobem čištění odpadní vody vegetačními kořenovými čistírnami se jeví vertikální kořenová čistírna s pulzním vypouštěním odpadní vody. Díky pulznímu vypouštění ve filtru převládá aerobní prostředí a díky tomu dochází i k odstranění amoniakálního dusíku. Četnost vypouštění se navrhuje 5krát až 10krát denně. I když je voda vypouštěna nárazově, na odtoku je stabilní průtok. Pulzní vypouštění se zajišťuje několika způsoby. U malých objektů do 10 EO je možné použít malé čerpadlo s vysokým průtokem nad 5 l/s. U větších producentů to jsou poté elektroventily nebo automatická pulzně dávkovací zařízení, která pracují bez nutnosti obsluhy a bez přívodu elektrické energie. Návrh rozdělovacího přívodního potrubí hraje velkou roli v celkové funkčnosti filtru. Je nutné, aby byla odpadní voda rovnoměrně vypouštěna po celé ploše filtru. Toho je možné dosáhnout použitím hlavní rozvodné větve potrubí o dimenzi DN110. Z tohoto potrubí jsou odbočky, nejlépe v kolmém směru, o dimenzi DN40. Toto maloprofilové potrubí je na spodní straně perforováno po 250 milimetrech. Aby bylo zajištěno rovnoměrné proudění vody, je nutné rozvodné potrubí řádně podepřít. Doporučuje se použít betonovou zámkovou dlažbu po 500 a 600 milimetrech. Pro rozvodné potrubí je výhodné použít plastové potrubí, které je určeno pro

vnitřní kanalizaci. Izolace vertikálního filtru se provádí, stejně jako u horizontálního, tedy plastovou fólií, chráněnou netkanou textilií. Vegetační porost je také shodný jako u horizontálního filtru. Zde navíc plní funkci ochrany rozdělovacího potrubí před UV zářením. Pokud by toto potrubí nebylo chráněno, bude docházet ke křehnutí plastového potrubí a k jeho následnému poškození.

### 2.3.2. Filtrační materiál

Skladba filtračního materiálu se oproti horizontálnímu filtru liší. Je možné používat i menší frakce. Díky aerobnímu prostředí nedochází k tak rychlému procesu kolmatace.

Název vrstvy	Materiál	Výška (mm)
<b>Svrchní vrstva</b>	Praný říční štěrk 4/8 mm	50–100
<b>Hlavní filtrační vrstva</b>	Drcený štěrk 2/4 mm*	500–600
<b>Přechodový filtr</b>	Drcený štěrk 4/8 mm	50–100
<b>Drenážní vrstva</b>	Drcený štěrk 8/16 mm	200
<b>Kompenzační vrstva**</b>	Písek	0–50
<b>Těsnění</b>	Hydroizolace PVC 1,5 mm krytá oboustranně geotextilií 500 g/m <sup>2</sup>	-
<b>Pískový podsyp**</b>	Písek	0–50

\*je možné aplikace frakce 1/4, 1/5, 2/5 podle možností nejbližšího lomu

\*\*vhodné, ale není bezpodmínečně nutné)

Tabulka převzata z publikace Metodická příručka pro povolování, návrh, realizaci a provoz, 2015

Tloušťka filtrační vrstvy se tak pohybuje kolem 1 metru, podobně jako u horizontálního filtru. Jak vyplývá z tabulky, hlavní filtrační vrstva má frakci



2/4 milimetrů a díky tomu může probíhat daleko efektivnější filtrace. Díky pozvolnému přechodu mezi frakcemi v jednotlivých vrstvách nebude docházet k vyplavování menších částic do vrstev s vyšší frakcí. Není tedy nutné dávat mezi jednotlivé vrstvy dělicí geotextilii. Naopak by způsobovala další problémy. Pískový podsyp pod těsnící hydroizolaci se doporučuje dávat, není-li možné dno filtru řádně srovnat do roviny, nebo v případech kdy je rostlý terén plný ostrých kamenů, které by mohly způsobit proražení hydroizolace.



**Obrázek 18:** Realizace filtračního pole v obci Dražovice (Křiška, 2016)

### 2.3.3. Funkčnost

Provoz vertikálních pulzně napouštěných filtrů je dnes předmětem mnoha výzkumných prací. Zjišťují se jeho vlastnosti a dlouhodobá funkčnost. Ze zkušeností ze zahraničí je však možné usuzovat že u něho nedochází k tak výrazné kolmataci jako u horizontálních filtrů, a především díky aerobnímu prostředí je možné odstraňovat amoniakální znečištění. Při návrhu velikosti filtrační plochy se vychází z koncentrace znečištění  $\text{CHSK}$ , které je v odpadní vodě zastoupeno ve dvojnásobném množství oproti  $\text{BSK}_5$ .



Schopnost vertikálního filtru odstraňovat toto znečištění je, dle výzkumů p. Ing. Kříšky, Ph.D. a pí. Ing. Němcové,  $15,0 \text{ g}_{\text{CHSK}}/\text{m}^2/\text{den}$ .

**Obrázek 19:** Detail rozdělovacího potrubí při pulzním vypouštění (publikace Metodická příručka pro povolování, návrh, realizaci a provoz, 2015)

## 2.4. Stabilizační nádrž

Stabilizační nádrže patří mezi přírodní způsoby čištění znečištěných vod. Využívají fyzikální, chemické a biologické procesy probíhající ve vodním prostředí za účasti vodní a mokřadní biocenózy, vyšší vegetace a vodní fauny. Tyto nádrže je možné navrhovat pro dočištění splaškových vod, například u jednotlivých rodinných domů, většího počtu rodinných domů, celých obcí apod. Nejčastější rozdělení stabilizačních nádrží je dle tabulky.

Stabilizace	Typ nádrží	Rozdělení	Možnosti využití
Úprava a stabilizace fyzikálních, chemických a biologických vlastností	Aerobní biologické nádrže	Nízkozatěžované	Čištění znečištěných odpadních vod v klimatu střední Evropy
		Vysokozatěžované	Čištění komunálních odpadních vod v klimatu jižní Evropy
		Průběžně provzdušované	Intenzivní čištění komunálních odpadních vod
		Dočišťovací	Dočištění čištěných odpadních vod za mechanicko-biologickým čištěním
	Fakultativní	Přechodné nádrže na přítoku	Tvoří přechod anaerobního a aerobního procesu v jedné nádrži
	Anaerobní biologické nádrže	Průtočné	Anaerobní čištění odpadních vod
		Sedimentační	Prodloužená sedimentace komunálních a průmyslových odpadních vod
		Akumulační	Čištění odpadních vod kampaňových producentů (cukrovary, škrobárny aj.)

Tabulka převzata z publikace Natural Technologies of Wastewater Treatment, 2014



**Obrázek 20:** Stabilizační nádrž (Křiška, 2017)

### **2.4.1. Anaerobní biologické nádrže**

V anaerobních biologických nádržích převládá anaerobní prostředí a čistící podmínky v něm. Anaerobní procesy se obvykle projevují pachovými závadami, které mohou nepříznivě působit na okolí. Čištění v takovém prostředí je velmi vázáno na teplotu, při teplotách nižších jak 10 °C dochází k utlumení procesů. Anaerobní nádrže je možné rozdělit na tři základní typy, a to průtočné, sedimentační a akumulační anaerobní biologické nádrže.

Průtočné anaerobní nádrže nejčastěji slouží jako předstupeň před aerobními nádržemi. Díky anaerobním procesům dochází k narušení složitých organických vazeb a usnadnění následných aerobních procesů. Doba zdržení v těchto nádržích bývá od 2 do 5 dnů.

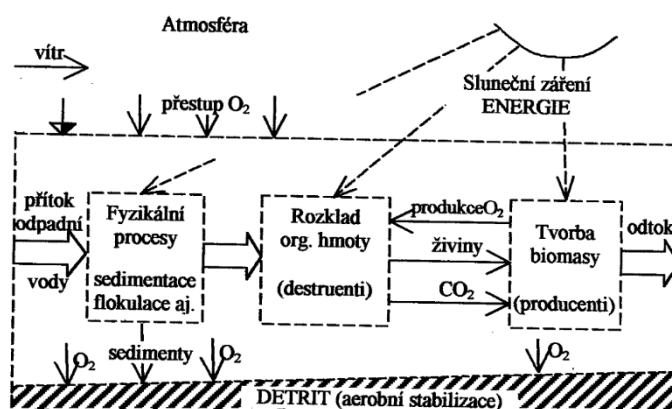
Sedimentační nádrže se také řadí před aerobní nádrže. Dochází zde k zachycování většiny usaditelných látek. Usazený kal je nutné z těchto nádrží pravidelně odstraňovat. Aby nebylo nutné odstavovat celou čistírnu v době čištění nádrže, navrhují se dvě nádrže souběžně vedle sebe. Na základě zkušeností s provozem takových nádrží se dnes už nedoporučuje takové otevřené nádrže navrhovat. Vhodnější je využít šterbinové usazovací nádrže nebo vícekomorové septiky.

Akumulační nádrže se využívají u velkých producentů se specifickým znečištěním odpadních vod, jako jsou cukrovary, škrobárny nebo lihovary.

### **2.4.2. Aerobní biologické nádrže**

U aerobních nádrží převažuje kyslíkatý režim a patří k nejčastějším způsobům dočišťování. Velký vliv na čištění zde mají mikroskopické řasy. Kyslík, který se v aerobních nádržích vyskytuje a používá se k čistícím

procesům, je produkován řasami, obsažený v přitékající vodě, z přestupu hladinou na styku s atmosférou, dodáván mokřadní flórou a umělou aerací. Rozdělit aerobní nádrže můžeme do tří skupin. Zaprvé aerobní nádrže uměle neprovzdušňované a nádrže s přídavnou umělou aerací na pokrytí kyslíkového deficitu, zejména v zimním období. Zadruhé průběžně provzdušňované aerobní biologické nádrže. A zatřetí dočišťovací biologické nádrže k dočištění čištěných odpadních vod a znečištěných povrchových vod. Před aerobní nádrže je nutné navrhovat dobré mechanické předčištění. U nejmenších producentů, jako jsou samostatné domy, je to minimálně biologický septik doplněný o lapák tuků a olejů. U větších producentů je to pak úplné mechanické předčištění obsahující jemné česle, lapák písku, lapák tuků, a plně funkční usazovací nádrž s kalovým hospodářstvím.



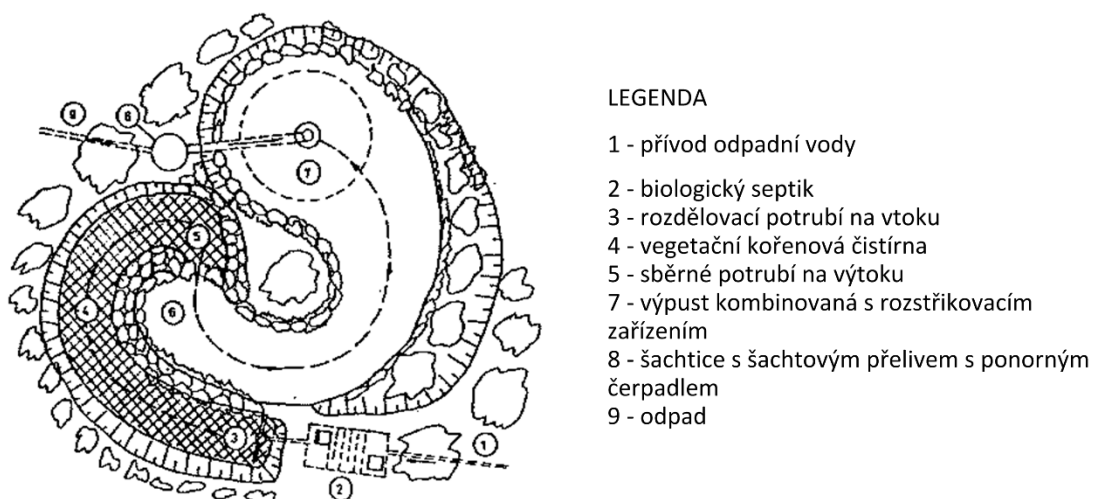
**Obrázek 21:** Zjednodušené schéma čistících procesů v aerobní biologické nádrži (publikace *Hospodaření s vodou v budovách určených k dočasnému nebo trvalému pobytu*)

### 2.4.3. Dočišťovací biologické nádrže

Dočišťovací biologické nádrže (dočišťovací rybníky) patří k nejrozšířenějšímu způsobu využití malých vodních nádrží. Nejčastěji se využívají k dočišťování znečištěných povrchových vod a čištěných odpadních vod. Jejich hlavním úkolem je odstranit zbývající organické



znečištění a eliminovat značné části nutrientů. K tomuto dočišťování se používají běžné nádrže rybníčního typu. Důležité je, aby vypouštěná čištěná odpadní voda byla řádně promíšená s vodou na přítoku do nádrže. Nejčastěji se to řeší vložením mísícího zařízení před vtok do dočišťovací biologické nádrže. Voda musí být vhodně přiváděna do nádrže, aby bylo zajištěno rovnoměrné zatížení celé plochy dočišťovací biologické nádrže zbytkovým organickým znečištěním. Nádrž dále nesmí být přetěžována organickým znečištěním, aby nevznikl kyslíkový deficit, který by ohrozil výsledný čistící účinek. Těmito opatřeními je možné docílit vyššího dočišťovacího účinku a omezit možnost vzniku zkratkových hustotních proudů mezi vtokem a výtokem.



**Obrázek 22:** Dočišťovací aerobní biologická nádrž za vegetační kořenovou čistírnou (publikace *Hospodaření s vodou v budovách určených k dočasnému nebo trvalému pobytu*)

### 3. Vodní kultury (akvakultury)

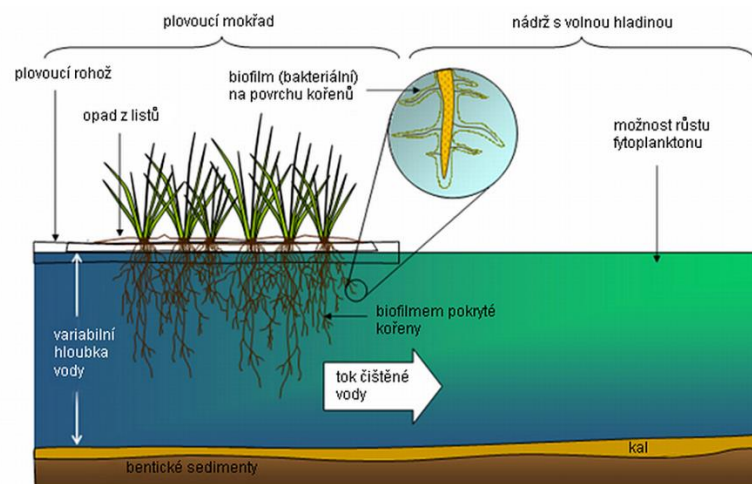
Nejčastěji využívané vodní kultury neboli akvakultury je možné rozdělit na „plovoucí umělé mokřady“ a „volně plovoucí rostliny“. Plovoucí umělé mokřady oproti volně plovoucím rostlinám využívají plovoucí nosič,

na kterém je umístěno více rostlin, které vytváří větší kořenový bal. V zahraničí se volně plovoucí rostliny využívají ke snížení nerozpuštěných a organických látek ve splaškové a průmyslové odpadní vodě. Oproti klasickým biologickým nádržím dokážou nádrže s akvakulturami dosahovat efektivnějšího odstranění nerozpuštěných látek a organické hmoty díky stínění, snížení větrného a tepelného mísení atd. Rozsáhlý systém kořenů rostlin poskytuje velkou specifickou plochu pro růst mikroorganismů přítomných v odpadní vodě. Rostliny musí být však pravidelně sklízeny, aby po jejich odumření nedocházelo k nechtěnému zvyšování znečištění, vlivem rozkladu odumřelých rostlin.

Systémy s plovoucími vodními rostlinami se zdají být slibné pro čištění odpadních vod, není možné ale využívat stejné druhy rostlin jako v zahraničí. Některé vhodné druhy se totiž převážně vyskytují v subtropickém nebo tropickém pásu a v klimatických podmínkách mírného podnebí nevydrží mrazivé teploty v zimním období.

### **3.1. Plovoucí umělé mokřady**

Umělé plovoucí mokřady se používají pro několik možných účelů – pro zlepšení kvality vody, obohacení biotopů novými druhy nebo vylepšení estetického dojmu u okrasných nádrží. S největší pravděpodobností dochází u těchto akvakultur k čistícím procesům proto, že voda přímo prochází přes kořenový systém rostlin, který poskytuje velkou specifickou plochu pro růst mikroorganismů ve vodním prostředí. Tyto mikroorganismy tak odbourávají z vody živiny a další přítomné látky a vyživují kořeny rostlin.



**Obrázek 23:** Průřez typického plovoucího mokřadu a nádrže ukazuje hlavní konstrukční prvky (Headley a Tanner, 2006)

Za poslední dvě dekády bylo provedeno mnoho studií na možnosti využívání akvakultur v různých částech světa. Nejvýhodnější použití akvakultur je pak pro odlehčení srážkových vod z jednotné kanalizace (dešťové zdrže před vypuštěním do vodního toku), pro splaškové vody a znečištěný odtok srážkových vod (zapojení v rámci mechanického čištění i jako hlavního čistícího stupně) nebo pro předřazené mokřady před vodárenskými nádržemi (snížení nerozpuštěných látek ve vodě, stabilizace).

Dalšími klady umělých plovoucích mokřadů je například zvýšení estetické hodnoty biologické nádrže nebo poskytování úkrytu pro volně žijící živočichy jako jsou ptáci či drobní obratlovci.

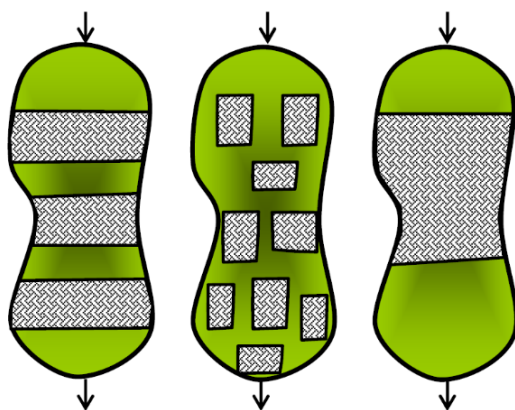
### 3.2.Funkčnost

V současné době nejčastěji citované výsledky z provozu akvakultur jsou z realizace v belgickém městě Bornem (Headley a Tanner, 2006), kde dochází k čištění odpadní vody přepadající z odlehčovací komory jednotné kanalizační sítě. Účinnost nádrže s akvakulturou pak dosahovala účinností



33-68 % CHSK, 66-95 % NL a 24-61 %  $P_{\text{celk}}$ , u  $N_{\text{celk}}$  docházelo k proměnlivým hodnotám.

Pro vodní prostředí pod mokřadem je dle zkušeností ze západní Evropy typický nízký obsah rozpuštěného kyslíku. Díky tomu dochází k výraznějšímu odstraňování amoniakálního znečištění ve vodě. Způsobů dodávání kyslíku do vodního prostředí je mnoho. V západní Evropě velmi často mokřady obsahují mechanickou nebo jemnobublinnou aeraci. Další možný přístup je více pasivní. Principiálně se jedná o nádrž, kde dochází ke střídání otevřené hladiny a plochy mokřadu. Díky tomuto řešení bude docházet k procesu fotosyntézy u vodních řas pod hladinou a difúzi na styku vodní hladiny s atmosférou. Toto řešení tak otevírá další možnosti, jak výslednou nádrž navrhnout po estetické stránce.



**Obrázek 24:** Pohled shora na tři různé kombinace nádrže a plovoucího mokřadu. Světlé plochy představují plovoucí mokřady, zelené oblasti představují zóny s volnou hladinou (Headley a Tanner, 2006)

Dalším možným řešením, jak zvýšit obsah rozpuštěného kyslíku, je zahrnutí provzdušňovací kaskády na výstupu zařízení na čištění srážkových vod.

### 3.3.Další způsoby řešení akvakultur

Jak už bylo řečeno na začátku kapitoly, možných řešení akvakultur pro účel čištění splaškových vod je několik. V této kapitole tak popíšu ve zkratce další způsoby řešení a druhy rostlin vhodné pro konkrétní řešení.

#### Systém s plovoucími vodními rostlinami

Pro podnebné klimatické podmínky mírného pásu, které panují na našem území, se pro tento typ akvakultur hodí Okřešky, které se drží v horních vrstvách vody. Použití okřešků k čištění a dočišťování vody má různé přednosti, ale i nedostatky.

Vybranými přednostmi jsou například významné odčerpávání živin a škodlivých látek z vody, v rozvoji nejsou omezovány nedostatkem světla ani CO<sub>2</sub>, velmi rychle se rozmnožují nebo se dají snadno sklízet. Vzniklá biomasa je navíc vhodná jako příměs do krmiva pro hospodářská zvířata nebo ke kompostování. Nedostatky jsou naopak nepříliš rozsáhlý kořenový systém, který by poskytoval prostor k uchycení mikroorganismů a s tím spojená menší účinnost čištění, hustý souvislý porost zabraňuje difúzi kyslíku ze vzduchu nebo v důsledku zastínění hladiny znemožňují rozvoji řas, což vede ke vzniku bezkyslíkatého prostředí pod okřeškou.

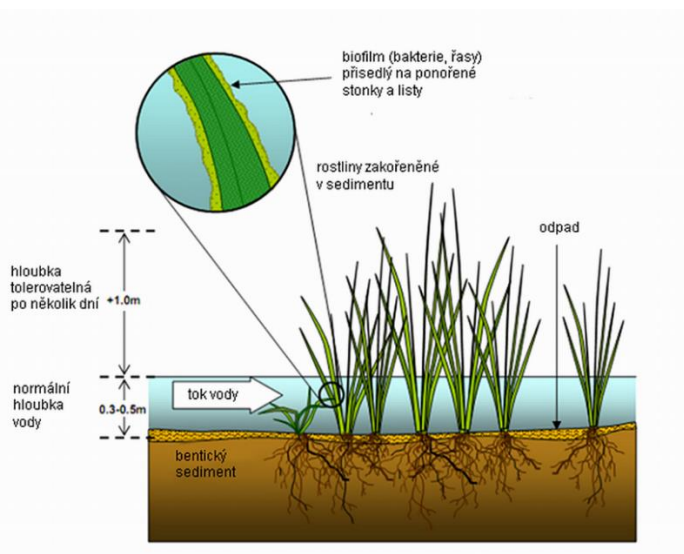
Další vhodnou rostlinou pro systém akvakultur s plovoucími rostlinami je Vodní hyacint. Vytváří velmi rozsáhlý kořenový systém a poskytuje tak prostor k rozvoji mikroorganismů. Hlavní nevýhodou je však fakt, že se jedná o subtropickou až tropickou rostlinu, která v našich podmínkách má krátké vegetační období a v zimním období přezimuje pouze ve skleníku nebo v dobře osvětlené místnosti, kde nemrzne.

### Systém s ponořenými vodními rostlinami

U rostlin používaných v tomto řešení je typické, že přijímají živiny hlavně ze sedimentů, ale i z vodního sloupce. Dokážou extrahovat živiny z odpadní vody, ale mohou růst pouze ve vodách s vysokým obsahem rozpuštěného kyslíku. Nejsou vhodné pro vody s vysokým obsahem snadno rozpustitelných organických látek a využívají se převážně pro dočišťování. Praktických realizací tohoto systému není v současné době mnoho. Zařazovány jsou hlavně jako konečný stupeň kombinovaného přírodního systému čištění odpadních vod.

### Systém s rostlinami kořenícími ve dně s listy vzplývajícími na hladině

Tento systém se u čistíren odpadních vod větších producentu používá jen ojediněle, většího uplatnění by mohl dosáhnout u vegetačních čistíren od individuálních objektů. Zde by se uplatnil u dočišťovacích jezírek, a to z důvodu své schopnosti odbourávat znečištění, estetickou hodnotu a zvýšení odparu vody. Nejčastějšími rostlinami u tohoto systému jsou lekníny a stulíky.



**Obrázek 25:** Profil typického umělého mokřadu s povrchoým tokem ukazuje klíčové konstrukční prvky a požadavky na hloubku vody (Headley a Tanner, 2006)

### Malé vodní nádrže s plovoucími ostrůvky s mokřadními rostlinami

Princip tohoto systému s plovoucími umělými ostrůvky byl popsán v předešlých bodech této kapitoly. Tyto ostrůvky je možné osazovat různými bažinnými rostlinami s estetickým vzhledem (např. kosatcem žlutým, okrasnou formou chrastice rákosovité, ostřicí, aj.), které se kromě zpestření vzhledu podílejí na odčerpávání živin a škodlivých látek, výparu vody, poskytují prostor pro mikroorganismy, poskytují útočiště pro ryby především v zimních měsících, zlepšují kyslíkovou bilanci a v zimě zabraňují souvislému pokryvu ledem díky pohybu ostrůvků ve větru. (Rozkošný – Křiška, 2014).



**Obrázek 26:** Umělý plovoucí mokřad s rozsáhlým vyvinutým kořenovým systémem po šesti měsících provozu (Rozkošný – Křiška, 2014)

### Hydroponický systém

Akvakultury s řasami resp. sinicemi pro čištění a dočišťování odpadních vod byly experimentálně ověřovány v různých zemích světa, ale i u nás. Použití řasových kultur pro dočišťování odpadních vod z jednotlivých obydlí není zatím prakticky dořešeno (Véber – Zahradník, 1986).

Vyšší rostliny se též vyznačují schopností odebírat živiny a další látky ze znečištěných vod. Pro takové systémy však rostliny musí splňovat následující podmínky: - rostliny musí být velmi tolerantní k obsahu látek v odpadní vodě a k jejímu pH, jedlé části plodin musí být mimo odpadní vodu a musí být před konzumací upravovány. Tyto parametry nejlépe splňují rajčata, papriky nebo cukrová řepa a možnost jejich pěstování tímto způsobem byl testován.

#### **4. Praktická část**

V praktické části bych chtěl představit možná řešení, jak navrhnout kořenovou čistírnu pro obec Třebešov. V současné době je v obci 267 obyvatel. Ne všechny domácnosti jsou napojeny přepadem ze septiku na dešťovou kanalizaci. Objekty podél Třebešovského potoka ve většině případů vypouštějí odpadní vodu přímo do potoka. V případě realizace ČOV by muselo zastupitelstvo obce vydat obecně závaznou vyhlášku zavazující domácnosti obce napojit se na inženýrskou síť svádějící splašky na ČOV. Pokud by to bylo komplikované řešení, pak by si měli pořídit domovní ČOV a vypouštět vyčištěnou vodu přímo do potoka. Pro návrh velikosti jednotlivých částí ČOV budu uvažovat počet EO 300. Díky tomu bude dosažena rezerva do budoucnosti, kdyby se počet obyvatel v obci navýšil.

Pro umístění ČOV jsem předběžně zvolil pozemky parc. č. 3043 a 3069; k. ú. Třebešov. Jde o pozemky nacházející se v jihozápadní části obce a jsou mezující sousedi s pozemkem, na kterém protéká Třebešovský potok. Územním plánem jsou tyto pozemky určeny jako plochy NSzpv – plochy smíšené nezastavěného území, zemědělské, přírodní, vodohospodářské. Současně s tím se oba pozemky nacházejí v lokálním biokoridoru BK23, ve kterém je umožněno umístit vegetační kořenovou čistírnu odpadních vod.

Od nejbližší zástavby je pozemek parc. č. 3043; k. ú. Třebešov vzdálen cca 60 metrů. Územním plánem obce není stanovena minimální odstupová vzdálenost objektu ČOV od obytné zástavby a dle vyjádření Ing. Vlastimila Křížka, z oddělení životního prostředí městského úřadu v Rychnově nad Kněžnou, by s umístěním ČOV, za předpokladu, že část mechanického předčištění bude zastřešená, neměli problém.



**Obrázek 27:** Umístění zvolených pozemků v rámci katastru (Žaluda, 2013)

#### 4.1. Vstupní data

Počet ekvivalentních obyvatel je pro výpočty stanoven na 300. Specifická produkce odpadní vody se dle normy volí od 90 l/os/den do 120 l/os/den. Pro výpočty budu uvažovat hodnotu 120 l/os/den, která poskytne bezpečnostní rezervu.

Průměrný denní přítok odpadních vod

$$Q_{24,m} = q_{spec} * počet\ obyvatel$$

$$Q_{24,m} = 120 * 300$$

$$Q_{24,m} = 36\,000\ l/den$$

$$Q_{24,m} = 36\ m^3/den$$

Orientační hodnoty produkce specifického znečištění na 1 EO

Ukazatele specifického znečištění				
BSK <sub>5</sub>	CHSK	N <sub>celk</sub>	P <sub>celk</sub>	NL
[g/d]	[g/d]	[g/d]	[g/d]	[g/d]
60	120	15	2,5	180

Hodnoty znečištění v obci

Hodnoty znečištění odpadních vod				
BSK <sub>5</sub>	CHSK	N <sub>celk</sub>	P <sub>celk</sub>	NL
[g/d]	[g/d]	[g/d]	[g/d]	[g/d]
18000	36000	4500	750	54000

Aby bylo možné stanovit přesnou hodnotu balastních vod v kanalizaci, odebral jsem vzorek odpadní vody a vedoucí práce doktor Kriška provedl laboratorní testy, aby bylo možné stanovení hodnoty znečištění CHSK, díky kterému dále vypočítám množství balastních vod.

Skutečná koncentrace CHSK v odpadní vodě		
vzorek č. 1	vzorek č. 2	průměr
492 mg/l	535 mg/l	513,5 mg/l

$$B = \frac{CHSK * \text{počet obyvatel}}{Q_{24,m}}$$

$$B = \frac{120 * 300}{36}$$

$$B = 1\,000 \text{ mg}_{CHSK}/l$$

$$1\,000 \text{ mg}_{CHSK}/l \quad 100\%$$

$$513,5 \text{ mg}_{CHSK}/l \quad x\%$$

$$x = 51,35 \%$$

Množství balastních vod je tedy celkem 48,65 % z celkového objemu odpadních vod.

Díky tomu je možné zjistit průměrný bezdeštný denní přítok.

$$Q_{24} = Q_{24,m} + Q_B$$

$$Q_{24} = 36 + 48\% * 36$$

$$Q_{24} = 53,514 \text{ m}^3/\text{den}$$

Pro výpočet maximálního bezdeštného denního přítoku uvažuji hodnotu koeficientu denní nerovnoměrnosti  $k_d = 1,5$ .

$$Q_d = Q_{24,m} * k_d + Q_B$$

$$Q_d = 53,514 * 1,4 + 17,514$$

$$Q_d = 71,514 \text{ m}^3/\text{den}$$

Pro výpočet bezdeštného hodinového přítoku jsem z tabulky vybral hodnotu součinitele maximální hodinové nerovnoměrnosti  $k_h = 4,4$  pro 300 obyvatel.

$$Q_h = \frac{Q_{24,m} * k_d * k_h + Q_B}{24}$$

$$Q_h = \frac{53,514 * 1,4 * 4,4 + 17,514}{24}$$

$$Q_d = 10,63 \text{ m}^3/\text{hod}$$

## 4.2. Dešťová zdrž



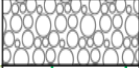

Pro výpočet velikosti dešťové zdrže bude nutné vypočítat množství vody během 15minutového deště a velikost odvodňovaného území. Velmi



důležité pro výpočet je také stanovení součinitele odtoku. Ten se stanoví jako vážený průměr ploch na jednotkovém hektaru daného území. Odvodňovanou plochu jsem s pomocí katastru nemovitostí stanovil na 20 ha. Intenzitu 15minutového deště s periodicitou 1 jsem odečetl z Truplových tabulek pro nejbližší lokalitu Pěčín jako 133 l/(s.ha).



**Obrázek 28:** Jednotkový hektar pro výpočet součinitele odtoku (Žaluda, 2013, autor, 2017)

Výpočet součinitele odtoku				
Materiál	Šrafa	A [m <sup>2</sup> ]	Podíl	Součinitel
Střechy		1 475	15 %	0,8
Zpevněné komunikace		1 939	19 %	0,8
Nezpevněné komunikace		467	5 %	0,6
Zeleň		6 119	61 %	0,1
Σ		10 000	100 %	0,36

Podle normy ČSN 75 6261 *Dešťové nádrže* je možné počítat nádrže retenční, záchytné a průtočné. Protože v návrhu počítám s použitím plovoucích ostrovů, u kterých je potřeba ponechat nějakou stálou hladinu, po větší části plochy nádrže, proto nebude nádrž splňovat parametry

klasických nádrží. Pro orientační výpočet velikosti nádrže budu postupovat podle vzorečků pro záchytné a průtočné nádrže 7. 4. 2. *Záchytné a průtočné nádrže*, ČSN 75 6261.

Vzorec pro výpočet objemu nádrže:

$$V = \gamma * V_s * S_r$$

Opravný součinitel gama ( $\gamma$ ) pro 15minutový déšť má hodnotu 1,48 podle *Tabulky 1*, ČSN 75 6261.

Výpočet redukované plochy  $S_r$

$$S_r = S * \varphi$$

$$S_r = 20 * 0,36$$

$$S_r = 7,25 \text{ ha}$$

Poslední hodnota ve vzorci  $V_s$  je specifický objem nádrže. Tato hodnota se odečte z *Obrázku 2*, ČSN 75 6261 na základě specifického odtoku z nádrže  $q_0$  a intenzity mezního deště  $q_m$ . Pro tento výpočet budu uvažovat, že odtok z nádrže  $q_0$  bude nulový. Hodnota mezního deště  $q_m$  je nutné dopočítat podle *TNV 75 6262 Odlehčovací komory a separátory*.

$$q_m = 4,324 * \ln \alpha + 12$$

$$\alpha = \frac{Q_{DEŠŤ} * K^x}{K_r * Q_{270}}$$

- Hodnotu  $Q_{DEŠŤ}$  stanovím jednoduchým vynásobením intenzity deště, součinitele odtoku a neredukované plochy odvodňovaného území

$$Q_{DEŠŤ} = q_c * S * \varphi$$

$$Q_{DE\check{S}\check{T}} = 133 * 20 * 0,36$$

$$Q_{DE\check{S}\check{T}} = 963,8 \text{ l/s}$$

- Hodnotu veličiny K spočítám podle vzorečku

$$K = \frac{N}{100 * S}$$

$$K = \frac{300}{100 * 20}$$

$$K = 0,15$$

- Hodnoty ostatních veličin pro účely této práce pouze odhadnu, jejich skutečnou hodnotu by v další části dokumentace bylo nutné ověřit.
- Koeficient x bude mít pro účely tohoto výpočtu hodnotu 1
- Velikost koeficientu jakosti povrchových vod  $K_r$  budu také uvažovat 1
- Průměrný průtok v recipientu po 270 dní v roce  $Q_{270}$  uvažuji 1/s.

$$\alpha = \frac{963,8 * 0,15^1}{1 * 1}$$

$$\alpha = 144,57$$

- V tuto chvíli už mám všechny dílčí hodnoty a mohu dopočítat intenzitu mezního deště  $q_m$

$$q_m = 4,324 * \ln 144,57 + 12$$

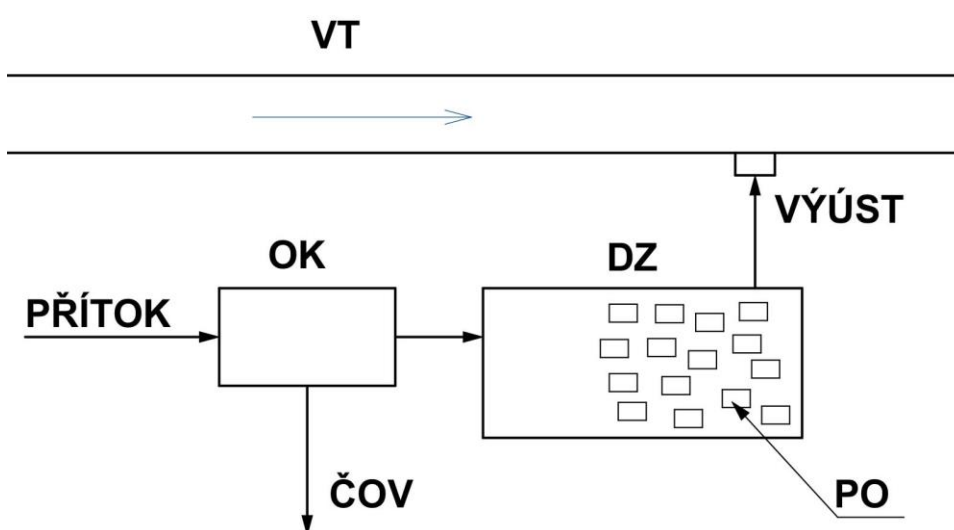
$$q_m = 33,51 \text{ l/(s. ha)}$$

S hodnotami  $q_0$  a  $q_m$  jsem schopen odečíst z *Obrázku 2, ČSN 75 6262* hodnotu  $V_s$ , která se rovná  $25 \text{ m}^3/\text{ha}$  a můžu tak dopočítat objem nádrže.

$$V = 1,48 * 25 * 7,25$$

$$V = 268,1 \text{ m}^3$$

Výsledné rozměry nádrže bych navrhl  $5,5 \text{ m} \times 16,5 \text{ m}$  s hloubkou  $3 \text{ m}$  a výsledným objemem  $272,25 \text{ m}^3$ .



**Legenda:** OK: odlehčovací komora, DZ: dešťová zdrž, VT: vodní tok, ČOV: čistírna odpadních vod, PO: plovoucí ostrovy.

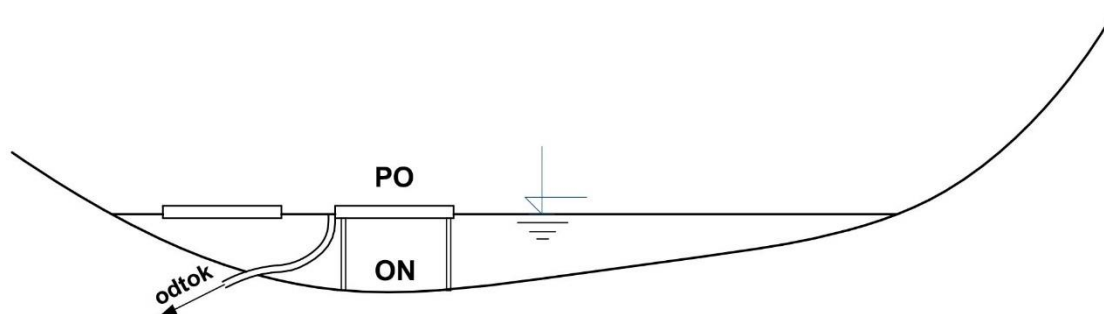
**Obrázek 29:** Schéma dešťové zdrže (autor, 2017)

Přesné parametry nádrže by se dopočítaly až při dalším zpracování, kdy by ČHMÚ poskytl přesné údaje o stavu vody v řešeném území.

V návrhu počítám s použitím plovoucích ostrovů jako způsobu čištění naředěné odpadní vody dešťovými srážkami. Počítám s tím, že znečištění, které doteče do dešťové nádrže, bude dostatečně naředěné, aby se s ním vypořádaly zmíněné plovoucí ostrovy mokřadní zeleně a nebylo tak nutné vodu z nádrže, po skončení deště, přečerpávat zpět na ČOV.

Ostrovy potřebují zůstat ve vodním prostředí, proto počítám se stálou hladinou cca 300 mm, ve které by rostliny mohly přežívat. Abych toho dosáhl, s doktorem Kříškou jsme předběžně vymysleli takový způsob vypouštění, u kterého si myslíme, že by nám to umožnil.

Odtokové potrubí bude uchyceno těsně pod úrovní jednoho z ostrovů a spolu s ním se bude reagovat na změnu hladiny, pokud bude do nádrže přitékat větší množství vody, než je schopné odvést pryč z nádrže. Odtokové potrubí bude tvořeno pohyblivou hadicí, dostatečné délky, aby umožnila pohyb ostrovu od minimální hladiny po maximální. Abychom vypouštění mohli zastavit po dosažení minimální hladiny, ostrov, u kterého bude uchyceno odtokové potrubí, bude opatřen „nožičkami“, které zastaví jeho klesání a ponechají navrženou minimální hladinu vody.



**Legenda:** ON: opěrné nožičky, PO: plovoucí ostrovy.

**Obrázek 30:** Schéma vypouštění nádrže (autor, 2017)

#### 4.3. Varianta I

U následujících prvků mechanického předčištění je možný návrh různých způsobů předčištění. V první variantě bych se zaměřil na řešení s použitím septiku v moderní úpravě, kde nedochází ke zkratkovým proudům. Těmto septikům se říká Anaerobní separátory (viz. 2.1.3 Septiky). Střední dobu zdržení odpadní vody uvažuji 5 dní.

Hodnoty znečištění odpadních vod na přítoku na ČOV				
BSK <sub>5</sub>	CHSK	N <sub>celk</sub>	P <sub>celk</sub>	NL
[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]
336,4	672,7	84,1	14,0	1 009,1

$$V = a * Q_{24} * t$$

$$V = 1,5 * 53,514 * 5$$

$$V = 401,355 \text{ m}^3$$

Septik s takto velkým objemem by bylo možné zhotovit z plastu, jak mi bylo sděleno referentem společnosti CDP PLAST s.r.o. Martinem Doležalem. Jedna nádrž by měla rozměry 12 000 x 3 000 x 3 000 mm (délka x šířka x výška) s celkovým objemem 108 m<sup>3</sup>. Cena jedné nádrže by byla 295 000 Kč bez DPH. Další možnou variantou je septik z betonových dílců, ten by dle vyjádření obchodně-technického zástupce společnosti db Betonové jímky s.r.o. Ing. Lukáše Dvořáčka, bylo možné sestavit z pěti nádrží ND24. Takto sestavený septik by měl půdorysné rozměry 11 900 x 6 300 mm a celkový objem 119,5 m<sup>3</sup>. Cena jednoho takového septiku by se pohybovala kolem 780 000 Kč bez DPH včetně zemních prací a manipulačního jeřábu.



**Obrázek 31:** Plastová nádrž od společnosti CDP PLAST s.r.o. a betonová nádrž od společnosti db Betonové jímky s.r.o. ([www.cdpplast.cz](http://www.cdpplast.cz), cCDP Plast, s.r.o., [www.db-jimky.cz](http://www.db-jimky.cz), c2017)

Z důvodu vyšší ceny a dalšího dělení ČOV jsem se rozhodl navrhnout celkem 4 menší septiky, které by měly v součtu požadovaný objem.

V separátoru také dojde ke změně dusíku na amoniakální dusík  $\text{N-NH}_4^+$ , který se v klasických septicích nedá odstranit. U separátorů už dochází k jeho odbourání v množství od 5 % do 25 %.

Ve výpočtech jsem zvolil účinnosti separátoru pro  $\text{BSK}_5$  50 %, CHSK 40 %,  $\text{N-NH}_4^+$  5 %,  $P_{\text{celk}}$  15 % a NL 70 %. Hodnoty znečištění na výtoku za separátorem proto budou následující:

Hodnoty znečištění odpadních vod za separátorem				
$\text{BSK}_5$	CHSK	$\text{N-NH}_4^+$	$P_{\text{celk}}$	NL
[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]
168,18	403,6	79,89	11,91	302,72

Plochu vertikálního filtru s vegetací se stanovuje výpočtem stejně jako zemní filtr, výpočtem přípustného hydraulického zatížení a z množství znečištění, které je schopen filtr odstranit.

Plocha filtru dle hydraulického zatížení:

$$A = \frac{k * Q_{24}}{v_f}$$

$k$  – součinitel místních podmínek uvažuji hodnotu 1

$v_f$  - přípustné hydraulické zatížení je 0,15 m/den

$$A = \frac{1 * 53,514}{0,15}$$

$$A = 356,76 \text{ m}^2$$

Plocha filtru dle plošného zatížení:

- Plošné zatížení filtru uvažuji 18 g<sub>CHSK</sub>/m<sup>2</sup>/den

$$A = \frac{c_p}{18}$$

$$A = \frac{21\,600}{18}$$

$$A = 1\,200\,m^2$$

Protože uvažuji se čtyřmi separátory i zde budu počítat, že se výsledná plocha rozdělí mezi čtyři pole. Každé z těchto polí budou zkrápět 3 pulsní dávkovače (na ČOV celkem 12). Díky tomu dosáhnou optimální plochy 100 m<sup>2</sup> na jeden dávkovač.

Ve výpočtech jsem zvolil účinnosti vertikálního filtru s vegetací pro BSK<sub>5</sub> 77 %, CHSK 70 %, N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 60 %, P<sub>celk</sub> 5 % a NL 85 %. Hodnoty znečištění na výtoku za vertikálním filtrem proto budou následující:

Hodnoty znečištění odpadních vod za vertikálním filtrem				
BSK <sub>5</sub>	CHSK	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	P <sub>celk</sub>	NL
[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]
38,68	121,09	31,95	11,32	45,41

Vypočtené hodnoty za vertikálním filtrem již v tuto chvíli splňují přípustné emisní hodnoty dle NV č. 401/2015, přílohy 1, tabulky 1 a.

Aby byl poskytnut bakteriím obsaženým v odpadní vodě dostatečný čas k vybití své energie a my nevypouštěli tyto vysoce aktivní bakterie přímo do vodního toku, navrhl bych umístění biologické dočišťovací nádrže.

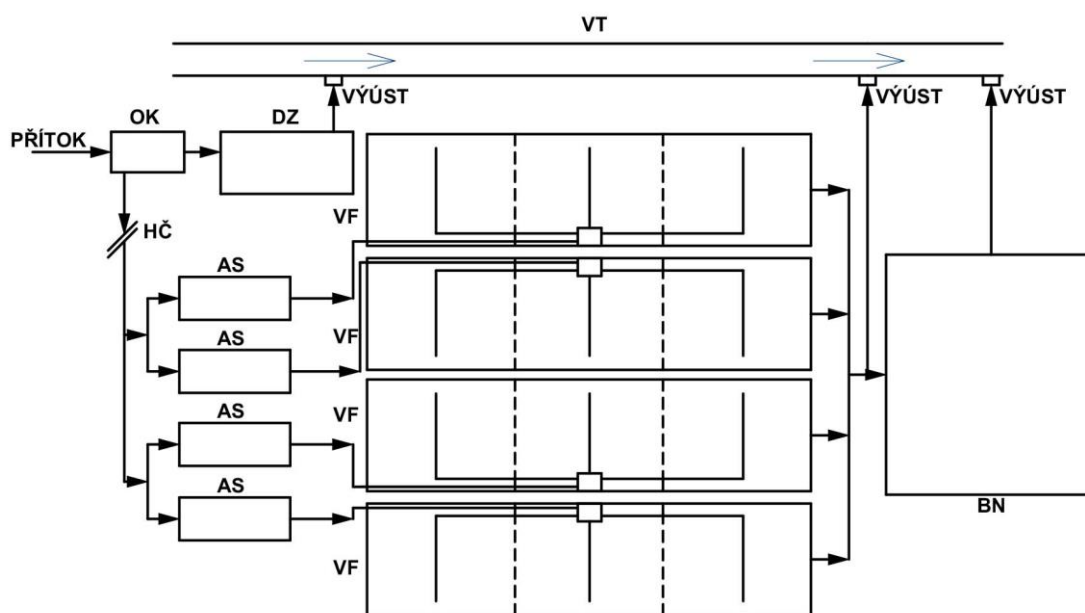
Ve výpočtech jsem zvolil účinnosti biologické dočišťovací nádrže pro BSK<sub>5</sub> 65 %, CHSK 60 %, N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 30 %, P<sub>celk</sub> 5 % a NL 85 %. Hodnoty znečištění na výtoku z biologické dosazovací nádrže proto budou následující:



Hodnoty znečištění odpadních vod za dosazovací nádrží				
BSK <sub>5</sub>	CHSK	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	P <sub>celk</sub>	NL
[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]
13,54	48,44	22,37	10,75	6,81

Protože se jedná o nádrž s otevřenou hladinou, dá se předpokládat zvýšení některých ukazatelů znečištění. Abychom tomuto nežádoucímu vlivu předešli a mohli odstraňovat sedimentovaný kal, osadil bych přítok odbočkou, která by se v případě potřeby otevřela a voda přitékající z ČOV by byla odváděna přímo do vodního toku. V dosazovací nádrži by tak mohlo dojít k vysušení sedimentovaného kalu a následně k jeho vytěžení, aby nádrž mohla v pořádku fungovat i nadále.

Schematicky by tedy vypadala navržená ČOV jako na obrázku níže.



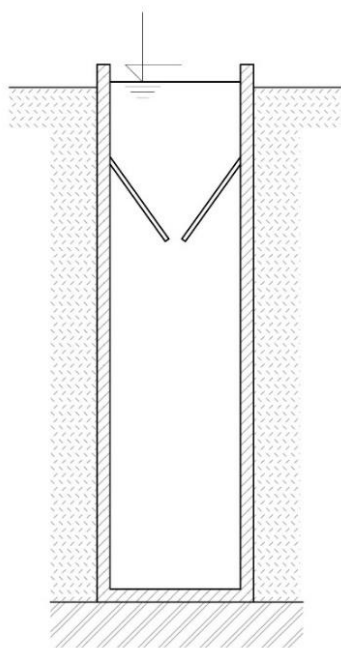
**Legenda:** OK: odlehčovací komora, DZ: dešťová zdrž, VT: vodní tok, HČ: hrubé česle, AS: Anaerobní separátor, VF: vertikální filtr, BN: biologická dočišťovací nádrž.

**Obrázek 32:** Schéma ČOV ve variantě I (autor, 2017)

#### 4.4. Varianta IIa

Ve druhé variantě dojde ke změně hlavního stupně mechanického předčištění. Anaerobní separátory budou nahrazeny jednou štěrbínovou usazovací nádrží, navržené dle doporučení z normy ČSN 75 6402 *Čistírny odpadních vod do 500 ekvivalentních obyvatel*. Za štěrbínovou usazovací nádrž budou dále umístěny horizontální filtry. Plocha filtrů je odvozena od počtu obyvatel, se kterými počítám ve výpočtech a potřebnou plochou  $1 \text{ m}^2/\text{EO}$ . Celková plocha horizontálního filtru tedy bude  $300 \text{ m}^2$ . Vstupní hodnoty znečištění jsou zde stejné jako u první varianty.

Hodnoty znečištění odpadních vod na přítoku na ČOV				
BSK <sub>5</sub>	CHSK	N <sub>celk</sub>	P <sub>celk</sub>	NL
[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]
336,4	672,7	84,1	14,0	1 009,1



Štěrbínová nádrž by byla zhotovena na místě jako monolitická železobetonová konstrukce do systémového bednění s tloušťkou stěny 150 mm. Šířku nádrže volím 1 500 mm, délku podle normy volím optimálně poměru šířky ku délce 1:5, délka nádrže tedy bude 7 500 mm. Začátek šikmé norné stěny navrhují 860 mm pod uvažovanou hladinou. Sklon norné stěny je normou požadován 1,4:1, při šířce 1 500 mm bude svislá výška norné stěny 945 mm. Usazovací prostor tak bude mít celkovou výšku 1 805 mm, plochu v řezu  $1,987 \text{ m}^2$  a objem  $14,90 \text{ m}^3$ .

**Obrázek 33:** Štěrbínová usazovací nádrž (autor, 2017)

Předpokládaná doba zdržení odpadní vody v nádrži je 5 hodin. Velikost vyhnívacího prostoru se dle normy odvozuje od minimálního objemu na 1EO, to je 0,15 m<sup>3</sup>. Při počtu 300EO a navržených rozměrech šterbinové usazovací nádrže vychází výška vyhnívacího prostoru 4 000 mm. Celková výška nádrže pak 5 805 mm.

Pro výpočet hodnot znečištění za šterbinovou dosazovací nádrží jsem zvolil účinnosti pro BSK<sub>5</sub> 25 %, CHSK 20 %, N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 0 %, P<sub>celk</sub> 0 % a NL 30 %.

Hodnoty znečištění odpadních vod za šterbinovou nádrží				
BSK <sub>5</sub>	CHSK	N <sub>celk</sub>	P <sub>celk</sub>	NL
[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]
252,3	538,2	84,1	14,0	706,4

Protože ve šterbinové nádrži dochází k rozdílné účinnosti v odstraňování ukazatelů znečištění BSK<sub>5</sub> a CHSK, nebude platit pravidlo, že množství znečištění CHSK je dvojnásobné oproti znečištění BSK<sub>5</sub>.

Aby došlo k dostatečnému pročištění odpadní vody před přítokem na vertikální filtr s vegetací, umístíme za šterbinovou nádrž čtyři pole horizontálního filtru s podpovrchovým protékáním. Pokud uvažuji, že na 1EO bude potřeba 1 m<sup>2</sup>, celková plocha všech filtrů bude mít 300 m<sup>2</sup>. Jeden filtr tedy 75 m<sup>2</sup>. U všech těchto polí se počítá s kolmatací náplně filtru, díky tomu se výrazně ochrání náplň vertikálního filtru. Navíc díky čtyřem polím nebude nutné, po přistoupení k výměně náplně filtru, přerušovat provoz čistírny.

Horizontální filtr zde není navržen jako hlavní stupeň čištění, a proto nemůžeme účinnost odstraněného znečištění pro ukazatel BSK<sub>5</sub> odečíst z tabulky orientačních hodnot účinnosti z normy ČSN 75 6402 Čistírny odpadních vod do 500 ekvivalentních obyvatel. Přesnou hodnotu znečištění

za horizontálním filtrem proto zjistíme ze vzorečku pro stanovení plochy vegetační čistírny s horizontálním podpovrchovým průtokem.

Plocha horizontálního filtru vychází ze znečištění BSK<sub>5</sub>, podle vzorce:

$$A = \frac{Q_d * (\ln c_p - \ln c_o)}{(k_{bsk} * n * h)}$$

V tomto případě známe plochu, kterou bude horizontální filtr zabírat, úpravou vzorce ale můžeme zjistit hodnotu znečištění na výtoku:

$$c_o = e^{(\ln c_p - \frac{A * (k_{bsk} * n * h)}{Q_d})}$$

$$c_o = e^{(\ln 252,3 - \frac{300 * (0,1 * 0,45 * 1)}{71,514})}$$

$$c_o = 208,87 \text{ mg}_{BSK5}/l$$

Účinnost tohoto horizontálně protékaného filtru tak vychází 17,2 %, což je cca poloviční hodnota, než je minimální účinnost uváděná v tabulce normy ČSN 75 6402 Čistírny odpadních vod do 500 ekvivalentních obyvatel. Pro ostatní ukazatele znečištění proto budu také uvažovat poloviční účinnosti těch minimálních. Pro ukazatel znečištění CHSK to tedy bude 25 %, N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 5 %, P<sub>celk</sub> 2,5 % a NL 33 %.

Hodnoty znečištění odpadních vod za horizontálním filtrem			
CHSK	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	P <sub>celk</sub>	NL
[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]
403,6	79,9	13,7	473,3

Výpočet vertikálního filtru už provedu stejně jako ve variantě I. Nejprve dle přípustného hydraulického zatížení a následně dle plošného zatížení.

Plocha filtru dle hydraulického zatížení:

$$A = \frac{k * Q_{24}}{v_f}$$

k – součinitel místních podmínek uvažuji hodnotu 1

$v_f$  - přípustné hydraulické zatížení je 0,15 m/den

$$A = \frac{1 * 53,514}{0,15}$$

$$A = 356,76 \text{ m}^2$$

Plocha filtru dle plošného zatížení:

- Plošné zatížení filtru uvažuji 18 g<sub>CHSK</sub>/m<sup>2</sup>/den
- U vertikálně protékaného filtru navrhujeme plochu dle ukazatele znečištění CHSK. V tuto chvíli máme však dvě hodnoty tohoto ukazatele. První po odečtení účinnosti znečištění dle tabulky orientační účinnosti, to vychází 403,6 mg<sub>CHSK</sub>/l. Druhou hodnotu dostanu, když se budu držet pravidla, kde hodnota znečištění CHSK je dvojnásobná oproti znečištění BSK<sub>5</sub>. Vynásobením hodnoty znečištění BSK<sub>5</sub> dle vzorce pro výpočet plochy vegetační čistírny s horizontálním průtokem dostanu hodnotu 417,75 mg<sub>CHSK</sub>/l. Ve výpočtu budu uvažovat s tou vyšší hodnotou, abych byl na straně bezpečnosti. Tuto hodnotu ještě vynásobím průměrným denním průtokem  $Q_{24}$ , abych dostal člen  $c_{pl}$ , který už vstupuje do výpočtu plochy vegetační čistírny s vertikálním průtokem.

$$A = \frac{c_{pl}}{18}$$

$$A = \frac{22\,355}{18}$$

$$A = 1\,242\,m^2$$

Stejně jako ve variantě I, i zde budu navrhovat 4 pole vertikálních filtrů s vegetací. Každé pole bude mít plochu 310,5 m<sup>2</sup> a tři pulzní dávkovače. Plocha na jeden dávkovač bude tedy 103,5 m<sup>2</sup>, což je jen mírně nad optimálními 100 m<sup>2</sup>, takže by neměly vzniknout problémy.

Pro výpočet hodnot znečištění za vertikálním filtrem s vegetací jsem zvolil účinnosti pro BSK<sub>5</sub> 65 %, CHSK 60 %, N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 30 %, P<sub>celk</sub> 5 % a NL 85 %.

Hodnoty znečištění odpadních vod za vertikálním filtrem				
BSK <sub>5</sub>	CHSK	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	P <sub>celk</sub>	NL
[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]
52,22	125,32	31,95	12,98	70,99

Pouze hodnota ukazatele znečištění CHSK je nižší než požadované hodnoty znečištění stanovené nařízením vlády č. 401/2015 Sb.

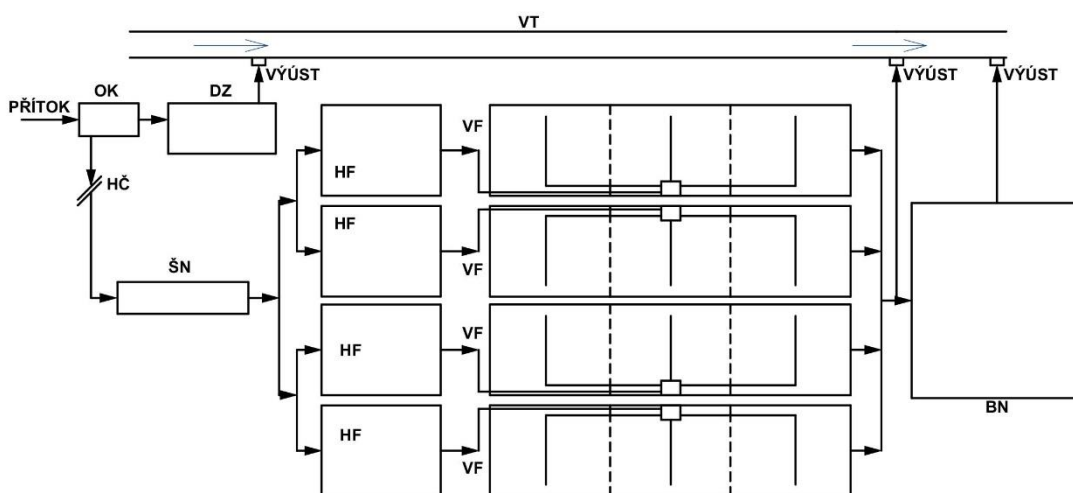
Protože za vertikálním filtrem hodnoty ukazatelů znečištění (ukazatelé BSK<sub>5</sub> a NL) nesplňují požadované hodnoty znečištění stanovené nařízením vlády č. 401/2015 Sb., navrhnul bych i zde poslední stupeň čištění odpadní vody, v podobě biologické dosazovací nádrže.

Pro výpočet hodnot znečištění za biologickou dosazovací nádrží jsem zvolil účinnosti pro BSK<sub>5</sub> 65 %, CHSK 60 %, N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 30 %, P<sub>celk</sub> 5 % a NL 85 %.

Hodnoty znečištění odpadních vod za dosazovací nádrží				
BSK <sub>5</sub>	CHSK	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	P <sub>celk</sub>	NL
[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]
18,28	50,13	22,37	12,33	10,65

Výsledné hodnoty znečištění ve variantě IIa, se štěbinovou usazovací nádrží a horizontálním filtrem, vycházejí o něco hůř než u varianty I, kde jsem uvažoval s použitím anaerobního separátoru. Hlavním důvodem bude předpokládaná doba zdržení 5 dní v separátoru.

Výsledné schéma celé ČOV je znázorněno na obrázku:



**Legenda:** OK: odlehčovací komora, DZ: dešťová zdrž, VT: vodní tok, HČ: hrubé česle, ŠN: štěbinová usazovací nádrž, HF: horizontální filtr, VF: vertikální filtr, BN: biologická dočišťovací nádrž.

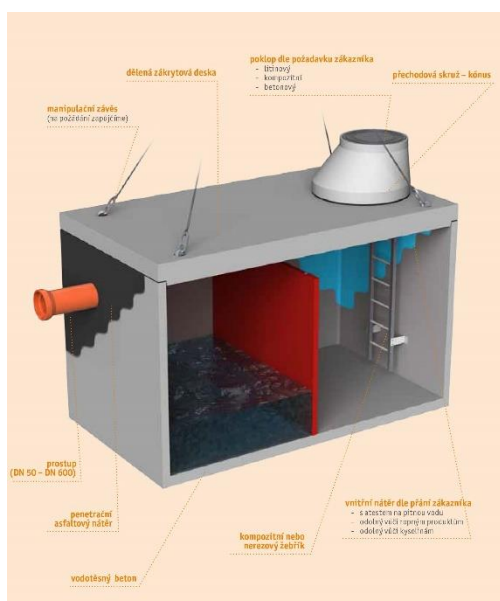
**Obrázek 34:** Schéma ČOV ve variantě IIa (autor, 2017)

## 4.5. Varianta IIb

Třetí varianta se od té druhé výrazně lišit nebude. Jednotlivé stupně čistírny zůstanou stejné. Pouze u štěbinové usazovací nádrže použiji prefabrikované betonové nádrže. Jednou z nejdražších položek v rozpočtech jsou zemní práce. Štěbinová nádrž, navržená podle doporučených parametrů z normy ČSN 75 6402 *Čistírny odpadních vod do 500 ekvivalentních obyvatel*, má celkovou výšku 5 805 mm. Výkopové práce by tak musely být

prováděny do hloubky přes 6 000 mm, pokud by navíc celá jáma musela být svahovaná, objem vytěžené zeminy by byl enormní.

Možným řešením, jak se vyhnout nákladným výkopovým pracím, je použití prefabrikovaných betonových nádrží určených pro skladování vody. Nádrže jsou z velmi kvalitních betonů a odolávají agresivním prostředím, a proto se hodí pro skladování splaškové odpadní vody. Jedním z výrobců je například společnost PREFA BRNO. Ve výpočtech jsem počítal

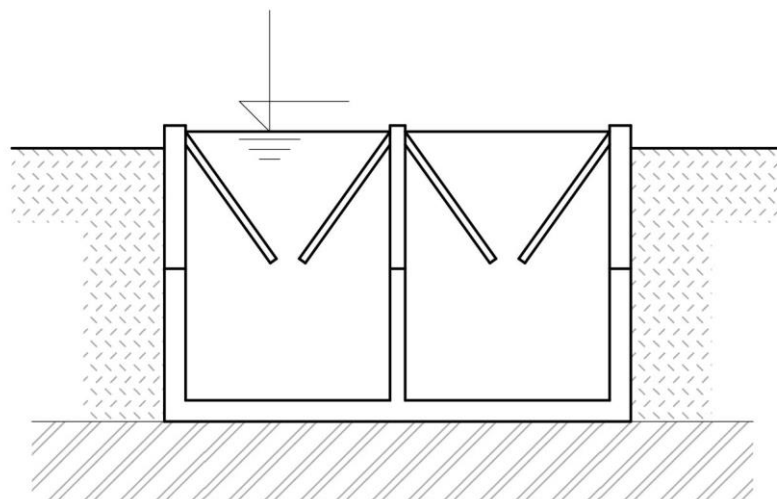


s rozměry jejich skládaných pravoúhlých nádrží. Zvolil jsem si nádrže s vnitřními rozměry 2 800 mm x 6 100 mm. Nádrž by byla po délce rozdělena na dvě menší části příčkou tloušťky 100 mm. Tím dostanu dvě usazovací nádrže, každá šířky 1 350 mm a délky 6 100 mm. Poměr šířky ku délce je tak 1:4,52. Doporučený poměr z normy je 1:5, tudíž se nejedná o zásadní rozdíl.

**Obrázek 35:** Prefabrikovaná betonová nádrž (Katalogový list – Prefa Brno, c2016)

Nádrže je možné zvyšovat dalšími nástavci. Já počítám s použitím základního dna s výškou 870 mm a jedním nástavcem s výškou 946. Celková vnitřní výška nádrže je 1 816 mm. Výkopy pro usazení nádrže tak budou pouze cca do 2 000 mm. Aby byl zajištěn stejný objem čištěné vody jako u předchozí varianty, bude potřeba použít dvě betonové nádrže rozdělené napůl. Celkem tedy budou čtyři šterbinové nádrže, které budou dále napojeny na horizontální filtr.





**Obrázek 36:** Štěrbínové usazovací nádrže v prefabrikované betonové nádrži.  
(autor, 2017)

V tomto provedení má usazovací prostor jedné nádrže objem 3,72 m<sup>3</sup>, všech čtyř tedy 14,90 m<sup>3</sup> a střední dobu zdržení také 5 hodin. Objem usazovacího prostoru má u všech čtyř nádrží 30,89 m<sup>3</sup>. Na jednoho obyvatele tak vychází jen 0,10 m<sup>3</sup>. Normou je požadován objem 0,15 m<sup>3</sup>/EO. V provozním řádu čistírny by tak mělo být uvedeno, že vyhnívací prostor usazovacích nádrží se bude muset čistit dvakrát ročně.

Následující výpočty koncentrací znečištění za jednotlivými stupni jsou shodné jako u varianty IIa.

Pro výpočet hodnot znečištění za štěrbinovými dosazovacími nádržemi jsem zvolil účinnosti pro BSK<sub>5</sub> 25 %, CHSK 20 %, N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 0 %, P<sub>celk</sub> 0 % a NL 30 %.

Hodnoty znečištění odpadních vod za štěrbinovou nádrží				
BSK <sub>5</sub>	CHSK	N <sub>celk</sub>	P <sub>celk</sub>	NL
[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]
252,3	538,2	84,1	14,0	706,4

Protože ve šterbinové nádrži dochází k rozdílné účinnosti v odstraňování ukazatelů znečištění BSK<sub>5</sub> a CHSK, nebude platit pravidlo, že množství znečištění CHSK je dvojnásobné oproti znečištění BSK<sub>5</sub>.

Aby došlo k dostatečnému pročištění odpadní vody před přítokem na vertikální filtr s vegetací, umístíme za šterbinovou nádrž čtyři pole horizontálního filtru s podpovrchovým protékáním. Pokud uvažuji, že na 1EO bude potřeba 1 m<sup>2</sup>, celková plocha všech filtrů bude mít 300 m<sup>2</sup>. Jeden filtr tedy 75 m<sup>2</sup>. U všech těchto polí se počítá s kolmatací náplně filtru, díky tomu se výrazně ochrání náplň vertikálního filtru. Navíc díky čtyřem polím nebude nutné, až by se přistoupilo k výměně náplně filtru, přerušovat provoz čistírny.

Horizontální filtr zde není navržen jako hlavní stupeň čištění, a proto nemůžeme účinnost odstraněného znečištění pro ukazatel BSK<sub>5</sub> odečíst z tabulky orientačních hodnot účinnosti z normy ČSN 75 6402 *Čistírny odpadních vod do 500 ekvivalentních obyvatel*. Přesnou hodnotu znečištění za horizontálním filtrem proto zjistíme ze vzorečku pro stanovení plochy vegetační čistírny s horizontálním podpovrchovým průtokem.

Plocha horizontálního filtru vychází ze znečištění BSK<sub>5</sub>, podle vzorce:

$$A = \frac{Q_d * (\ln c_p - \ln c_o)}{(k_{bsk} * n * h)}$$

V tomto případě známe plochu, kterou bude horizontální filtr zabírat, úpravou vzorce ale můžeme zjistit hodnotu znečištění na výtoku:

$$c_o = e^{(\ln c_p - \frac{A * (k_{bsk} * n * h)}{Q_d})}$$

$$c_o = e^{(\ln 252,3 - \frac{300 * (0,1 * 0,45 * 1)}{71,514})}$$

$$c_o = 208,87 \text{ mg}_{BSK5}/l$$

Účinnost tohoto horizontálně protékaného filtru tak vychází 17,2 %, což je cca poloviční hodnota, než je minimální účinnost uváděná v tabulce normy ČSN 75 6402 Čistírny odpadních vod do 500 ekvivalentních obyvatel. Pro ostatní ukazatele znečištění proto budu také uvažovat poloviční účinnosti těchto minimálních. Pro ukazatel znečištění CHSK to tedy bude 25 %, N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 5 %, P<sub>celk</sub> 2,5 % a NL 33 %.

Hodnoty znečištění odpadních vod za horizontálním filtrem			
CHSK	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	P <sub>celk</sub>	NL
[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]
403,6	79,9	13,7	473,3

Výpočet vertikálního filtru už provedu stejně jako ve variantě I. Nejprve dle přípustného hydraulického zatížení a následně dle plošného zatížení.

Plocha filtru dle hydraulického zatížení:

$$A = \frac{k * Q_{24}}{v_f}$$

k – součinitel místních podmínek uvažuji hodnotu 1

v<sub>f</sub> - přípustné hydraulické zatížení je 0,15 m/den

$$A = \frac{1 * 53,514}{0,15}$$

$$A = 356,76 \text{ m}^2$$

Plocha filtru dle plošného zatížení:

- Plošné zatížení filtru uvažuji 18 g<sub>CHSK</sub>/m<sup>2</sup>/den
- U vertikálně protékaného filtru navrhujeme plochu dle ukazatele znečištění CHSK. V tuto chvíli máme ale dvě hodnoty tohoto

ukazatele. První, po odečtení účinnosti znečištění dle tabulky orientační účinnosti, to vychází 403,6 mg<sub>CHSK</sub>/l. Druhou hodnotu dostanu, když se budu držet pravidla, kde hodnota znečištění CHSK je dvojnásobná oproti znečištění BSK<sub>5</sub>. Vynásobením hodnoty znečištění BSK<sub>5</sub> dle vzorce pro výpočet plochy vegetační čistírny s horizontálním průtokem dostanu hodnotu 417,75 mg<sub>CHSK</sub>/l. Ve výpočtu budu uvažovat s tou vyšší hodnotou, abych byl na straně bezpečnosti. Tuto hodnotu ještě vynásobím průměrným denním průtokem Q<sub>24</sub>, abych dostal člen c<sub>pl</sub>, který už vstupuje do výpočtu plochy vegetační čistírny s vertikálním průtokem.

$$A = \frac{c_{pl}}{18}$$

$$A = \frac{22\,355}{18}$$

$$A = 1\,242\,m^2$$

Stejně jako ve variantě I, i zde budu navrhovat 4 pole vertikálních filtrů s vegetací. Každé pole bude mít plochu 310,5 m<sup>2</sup> a tři pulzní dávkovače. Plocha na jeden dávkovač bude tedy 103,5 m<sup>2</sup>, což je jen mírně nad optimálními 100 m<sup>2</sup>, takže by neměly vzniknout problémy.

Pro výpočet hodnot znečištění za vertikálním filtrem s vegetací jsem zvolil účinnosti pro BSK<sub>5</sub> 65 %, CHSK 60 %, N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 30 %, P<sub>celk</sub> 5 % a NL 85 %.

Hodnoty znečištění odpadních vod za vertikálním filtrem				
BSK <sub>5</sub>	CHSK	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	P <sub>celk</sub>	NL
[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]
52,22	125,32	31,95	12,98	70,99

Pouze hodnota ukazatele znečištění CHSK je nižší než požadované hodnoty znečištění stanovené nařízením vlády č. 401/2015 Sb.

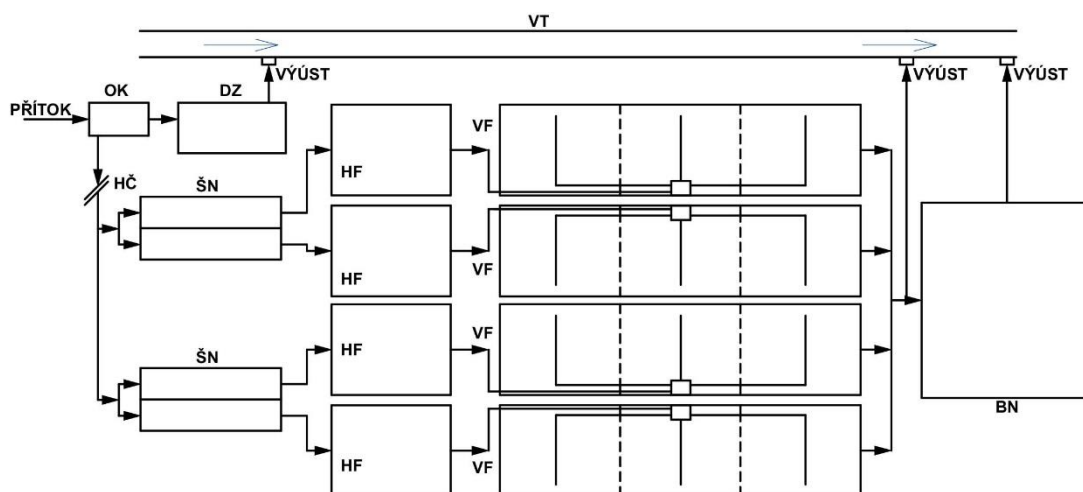
Protože za vertikálním filtrem hodnoty ukazatelů znečištění ukazatelé BSK<sub>5</sub> a NL nesplňují požadované hodnoty znečištění stanovené nařízením vlády č. 401/2015 Sb., navrhnul bych i zde poslední stupeň čištění odpadní vody, v podobě biologické dosazovací nádrže.

Pro výpočet hodnot znečištění za biologickou dosazovací nádrží jsem zvolil účinnosti pro BSK<sub>5</sub> 65 %, CHSK 60 %, N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 30 %, P<sub>celk</sub> 5 % a NL 85 %.

Hodnoty znečištění odpadních vod za dosazovací nádrží				
BSK <sub>5</sub>	CHSK	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	P <sub>celk</sub>	NL
[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]
18,28	50,13	22,37	12,33	10,65

Výsledné hodnoty znečištění ve variantě IIa, se štěrbínovou usazovací nádrží a horizontálním filtrem, vycházejí o něco hůř než u varianty I, kde jsem uvažoval s použitím anaerobního separátoru. Hlavním důvodem bude předpokládaná doba zdržení 5 dní v separátoru.

Výsledné schéma celé ČOV je znázorněno na obrázku:



**Legenda:** OK: odlehčovací komora, DZ: dešťová zdrž, VT: vodní tok, HČ: hrubé česle, ŠN: Štěrbínová usazovací nádrž, HF: horizontální filtr, VF: vertikální filtr, BN: biologická dočišťovací nádrž.

**Obrázek 37:** Schéma ČOV ve variantě IIb (autor, 2017)

## **Závěr**

Způsobů čištění odpadních vod je mnoho. Cílem této práce není hlásat, že jen čištění pomocí zemních filtrů je to jediné správné. Šlo mně o to, vytvořit možné řešení vegetační čistírny odpadních vod, které by bylo schopné dosáhnout předepsané kvality vypouštěných odpadních vod i u většího producenta znečištění, než je např. rodinný dům pro 4 obyvatele.

V práci se zabývám návrhem konkrétního řešení pro obec Třebešov. Řešení a uspořádání zahrnuje zapojení několika paralelních i sériových toků. Pokud jde o investiční náklady na realizaci navržené čistírny, na základě předběžného odhadu lze činit závěr, že popsané řešení s vegetační čistírnou bude po investiční stránce dražší oproti mechanicko-biologickému čištění. Také dojde k záboru větší plochy kvůli vytvoření zemních filtrů. Na druhou stranu dojde díky mokřadní vegetaci k rychlému začlenění do krajiny. Jedinou stavbou by zde byla budova, ve které by se nacházelo mechanické předčištění. Protože se mnou vybrané pozemky nacházejí v lokálním biokoridoru, bylo by toto řešení určitě výhodnější.

Co se týče provozních nákladů, s ohledem na řešení bez nutnosti přívodu elektrické energie a s vyloučením jakéhokoli mechanického zařízení počítám, že budou výrazně nižší v porovnání s jakoukoli jinou dostupnou technologií. U řešení s usazovací šterbinovou nádrží by dále bylo nutné zajistit vyklízení vyhnívacího prostoru jednou nebo dvakrát ročně. Pokud jde o náklady na výměnu filtračního materiálu, odhaduji, že k tomu by se přistupovalo cca jednou za 15 let provozu, přičemž by se jednalo ale pouze o povrchovou vrstvu do hloubky cca 10 cm. U varianty se septiky jako mechanickým předčištěním, počítám s dobou zdržení 5 dní, čímž se sníží nebezpečí kolmatace (ucpávání) vertikálního filtračního pole a tím se prodlouží jeho životnost. U variant se šterbinovou nádrží zas navrhuji

vložení horizontálního filtru před vertikální, který by přednostně kolmatoval a opět prodloužil životnost vertikálního filtru. Z finančního hlediska bude levnější vyměnit 300 m<sup>3</sup> filtračního materiálu v horizontálním filtru, než 1 200 m<sup>3</sup> ve vertikálním.

Nejdůležitějším cílem práce je návrh řešení a posouzení možnosti realizace kořenové čistírny odpadních vod. Výsledkem jsou tři různá uspořádání, z nichž je možné na základě zvážení a pohledu budoucího investora vybrat teoreticky nejvhodnější řešení. Výsledek slouží zejména pro představu investora, který se rozhodne řešit nakládání s vodami pomocí „přírodní“ nebo přírodě blízké čistírny.



## Seznam použitých zdrojů

### Literatura

Headley, T., R.; Tanner, C., C. *Application of Floating Wetlands for Enhanced Stormwater Treatment: A Review*. Auckland Regional Council 2006. 92 s.

Hlavínek, P., Mičín, J., Prax, P., Hlušík, P., Mílek, R.: *STOKOVÁNÍ A ČIŠTĚNÍ ODPADNÍCH VOD*, Modul 1 – Stokování, Brno 2006

Křiška, M., Němcová, M.: Kořenové čistírny odpadních vod – *METODICKÁ PŘÍRUČKA PRO POVOLOVÁNÍ, NÁVRH, REALIZACI A PROVOZ*, 2015

Rozkošný, M., Křiška, M., Šálek, J., Bodík, I., Istenič, D.: *Natural Technologies of Wastewater Treatment*, 2014., 138 p., ISBN: 978-80-214-4831-5

ŠÁLEK, Jan a Václav TLAPÁK. *Přírodní způsoby čištění znečištěných povrchových a odpadních vod*. Praha: Pro Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě (ČKAIT) vydalo Informační centrum ČKAIT, 2006. Technická knižnice autorizovaného inženýra a technika. ISBN 80-86769-74-7.

Véber, K., Zahradník, J. *Dočišťování odpadních vod autotrofními mikroorganismy a vyššími rostlinami*. Academia Praha, Studie ČSAV 24, 1986, 156 s.

VOKOLEK, Vít. *Pohřebiště a sídliště lidu popelnicových polí v Třebešově*. Hradec Králové: Krajské muzeum, 1966. Fontes Musei Reginaehradecensis.

ŽALUDA, projektová kancelář: *Územní plán Třebešov*, 2012

## Internetové zdroje

Betonové septiky. *db Betonové jímky s.r.o.* [online]. [cit. 2017-04-29]. Dostupné z: <http://www.db-jimky.cz>

Císařské povinné otisky map stabilního katastru Čech. *ÚSTŘEDNÍ ARCHIV ZEMĚMĚŘICTVÍ A KATASTRU* [online]. [cit. 2017-03-13]. Dostupné z: <http://archivnimapy.cuzk.cz/uazk/pohledy/archiv.html?#>

Dobrovolný svazek obcí Mikroregion Rychnovsko. *DSO Mikroregion Rychnovsko* [online]. 2013 [cit. 2017-03-04]. Dostupné z: <http://www.dso-rychnovsko.cz/preambule/d-1039/p1=1011>

Lososové a kaprové vody. *Ministerstvo životního prostředí* [online]. c20008-2015 [cit. 2017-03-13]. Dostupné z: [http://www.mzp.cz/cz/lososove\\_kaprove\\_vody](http://www.mzp.cz/cz/lososove_kaprove_vody)

Odlehčovací komory typu AS-ŠOK. *TZBinfo* [online]. 2004 [cit. 2017-03-15]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/2150-odlehcovaci-komory-typu-as-sok>

Oficiální server obce Třebešov. *Oficiální server obce Třebešov* [online]. c2008 [cit. 2017-03-12]. Dostupné z: <http://www.trebesov.cz>

Plastové jímky, septiky, nádrže. *CDP PLAST s.r.o.* [online]. [cit. 2017-04-29]. Dostupné z: <http://www.cdpplast.cz>

Pravoúhlé nádrže. *Prefa Brno a.s.* [online]. [cit. 2017-04-29]. Dostupné z: <http://www.prefa.cz/>

Prostory letového provozu. *IVAO CZECH DIVISION* [online]. 2011 [cit. 2017-03-12]. Dostupné z: [http://www.ivao.cz/index.php?option=com\\_content&view=article&id=57&Itemid=391](http://www.ivao.cz/index.php?option=com_content&view=article&id=57&Itemid=391)

Sdružení SPLAV, z.s. - o nás. *Sdružení SPLAV, z.s.* [online]. c2008 [cit. 2017-03-04]. Dostupné z: <http://www.sdruzenisplav.cz/index.php?id=500&lang=cze>

Štěrbínové odlehčovací komory. *AS/O* [online]. c2011-2017 [cit. 2017-03-15]. Dostupné z: <http://www.asio.cz/cz/as-sok>

Vodní hospodářství a ochrana vod. *HYDROEKOLOGICKÝ INFORMAČNÍ SYSTÉM VÚV TGM* [online]. c2002-2017 [cit. 2017-03-13]. Dostupné z: <http://heis.vuv.cz/default.asp?typ=00>

Základní data o obci Třebešov. *Regionální Informační Servis* [online]. c2012-2016 [cit. 2017-03-05]. Dostupné z: <http://www.risy.cz/cs/vyhledavace/obce/detail?Zuj=576832>

## **Právní předpisy**

ČSN 75 6261 *Dešťové nádrže.*

ČSN 75 6401 *Čistírny odpadních vod pro více než 500 ekvivalentních obyvatel.*

ČSN 75 6402 *Čistírny odpadních vod do 500 ekvivalentních obyvatel.*

*Nařízení vlády č. 85/1981 Sb., o chráněných oblastech přirozené akumulace vod Chebská pánev a Slavkovský les, Severočeská křída, Východočeská křída, Polická pánev, Třeboňská pánev a Kvartér řeky Moravy.*

*Nařízení vlády č. 71/2003 Sb., o stanovení povrchových vod vhodných pro život a reprodukci původních druhů ryb a dalších vodních živočichů a o zjišťování a hodnocení stavu jakosti těchto vod.*

*Nařízení vlády č. 401/2015 Sb., o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod, náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech.*

## Seznam obrázků

Obrázek 1: Umístění Třebešova v rámci České republiky a znak obce (Risy.cz, c2012-2016) .....	5
Obrázek 2: Císařské povinné otisky map stabilního katastru Čech (1824–1843). Obec Třebešov – původně Trzebeschow. (Ústřední archiv zeměměřičství a katastru, 2017) .....	8
Obrázek 3: Satelitní snímek obce Třebešov (Google maps, c2017) .....	8
Obrázek 4: Regionální biokoridor a lokální biocentrum (Žaluda, 2013) .....	10
Obrázek 5: Lokální biocentrum a lokální biokoridor (Žaluda, 2013) .....	12
Obrázek 6: Vyústění dešťové kanalizace do Třebešovského potoka (mapa Katastr nemovitostí, c2004-2017, foto autor, 2016) .....	13
Obrázek 7: Vymezení lososových a kaprových vod v řešeném území (heis.vuv.cz, c2002-2017) .....	14
Obrázek 8: Umístění pohřebiště lidu popelnicových polí v obci Třebešov a pomník u pohřebiště (mapy.cz, c2015, foto autor, 2017) .....	16
Obrázek 9: Řez a axonometrie odlehčovací komorou typu AS-ŠOK (řez – tzb-info.cz, 2004, axonometrie – asio.cz, c2011-2017) .....	19
Obrázek 10: Dešťová zdrž (Křiška, 2017) .....	20
Obrázek 11: Ručně stírané česle (Křiška, 2017) .....	21
Obrázek 12: Uspořádání tříkomorového prefabrikovaného septiku (publikace Hospodaření s vodou v budovách určených k dočasnému nebo trvalému pobytu) .....	23
Obrázek 13: Řez šterbinovou usazovací nádrží (publikace Přírodní způsoby čištění znečištěných povrchových a odpadních vod, 2006) .....	25
Obrázek 14: Šterbinová usazovací nádrž (Křiška, 2017) .....	25
Obrázek 15: Schéma horizontálního filtru (publikace Metodická příručka pro povolování, návrh, realizaci a provoz, 2015) .....	27
Obrázek 16: Zanesené přírodní potrubí horizontálního filtru (publikace Metodická příručka pro povolování, návrh, realizaci a provoz, 2015) .....	29
Obrázek 17: Schéma vertikálního filtru (publikace Metodická příručka pro povolování, návrh, realizaci a provoz, 2015) .....	30
Obrázek 18: Realizace filtračního pole v obci Dražovice (Křiška, 2016) .....	33
Obrázek 19: Detail rozdělovacího potrubí při pulzním vypouštění (publikace Metodická příručka pro povolování, návrh, realizaci a provoz, 2015) .....	34
Obrázek 20: Stabilizační nádrž (Křiška, 2017) .....	35
Obrázek 21: Zjednodušené schéma čistících procesů v aerobní biologické nádrži (publikace Hospodaření s vodou v budovách určených k dočasnému nebo trvalému pobytu) .....	37
Obrázek 22: Dočišťovací aerobní biologická nádrž za vegetační kořenovou čistírnou (publikace Hospodaření s vodou v budovách určených k dočasnému nebo trvalému pobytu) .....	38
Obrázek 23: Průřez typického plovacího mokřadu a nádrže ukazuje hlavní konstrukční prvky (Headley a Tanner, 2006) .....	40

Obrázek 24: Pohled shora na tři různé kombinace nádrže a plovoucího mokřadu. Světlé plochy představují plovoucí mokřady, zelené oblasti představují zóny s volnou hladinou (Headley a Tanner, 2006) .....	41
Obrázek 25: Profil typického umělého mokřadu s povrchovým tokem ukazuje klíčové konstrukční prvky a požadavky na hloubku vody (Headley a Tanner, 2006).....	43
Obrázek 26: Umělý plovoucí mokřad s rozsáhlým vyvinutým kořenovým systémem po šesti měsících provozu (Rozkošný – Křiška, 2014).....	44
Obrázek 27: Umístění zvolených pozemků v rámci katastru (Žaluda, 2013) .....	46
Obrázek 28: Jednotkový hektar pro výpočet součinitele odtoku (Žaluda, 2013, autor, 2017)...	49
Obrázek 29: Schéma dešťové zdrže (autor, 2017) .....	52
Obrázek 30: Schéma vypouštění nádrže (autor, 2017) .....	53
Obrázek 31: Plastová nádrž od společnosti CDP PLAST s.r.o. a betonová nádrž od společnosti db Betonové jímky s.r.o. ( <a href="http://www.cdpplast.cz">www.cdpplast.cz</a> , cCDP Plast, s.r.o., <a href="http://www.db-jimky.cz">www.db-jimky.cz</a> , c2017) .....	54
Obrázek 32: Schéma ČOV ve variantě I (autor, 2017).....	57
Obrázek 33: Štěrbínová usazovací nádrž (autor, 2017) .....	58
Obrázek 34: Schéma ČOV ve variantě IIa (autor, 2017).....	63
Obrázek 35: Prefabrikovaná betonová nádrž (Katalogový list – Prefa Brno, c2016) .....	64
Obrázek 36: Štěrbínové usazovací nádrže v prefabrikované betonové nádrži. (autor, 2017)....	65
Obrázek 37: Schéma ČOV ve variantě IIb (autor, 2017).....	70

## Seznam použitých zkratek a symbolů

Označení	Legenda
BSK <sub>5</sub>	Biologická spotřeba kyslíku
ČHMÚ	Český hydrometeorologický úřad
ČOV	Čistírna odpadních vod
DSO	Dobrovolný svazek obcí Mikroregionu Rychnovsko
EO	Ekvivalentní obyvatel
CHSK	Chemická spotřeba kyslíku
N <sub>celk</sub>	Celkový dusík
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Amoniakální dusík
NL	Nerozpuštěné látky
P <sub>celk</sub>	Celkový fosfor
PLa	Povodí Labe – státní podnik
TSA	Temporary Segregated Area neboli Dočasně vyhrazený prostor
ÚAN	Územní s archeologickými nálezy
ÚSES	Územní systém ekologické stability
ZVHS	Zemědělská vodohospodářská správa